

TRABAJO FIN DE MÁSTER

BALANCE DE AGUA Y NUTRIENTES EN CUENCAS DE REGADÍO DEL SISTEMA DE RIEGOS DEL ALTO ARAGÓN: DELINEACIÓN DE CULTIVOS Y SISTEMAS DE RIEGO

**Máster Universitario en
Ordenación Territorial y Medioambiental**



Universidad Zaragoza Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio



Autor: Patricia Álvarez Padilla

Directores: Daniel Isidoro Ramírez

Asunción Julián Andrés

Septiembre-2012

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a la Universidad de Zaragoza por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Máster como a todos aquellos profesores que constituyeron parte de mi formación académica. Al CITA por permitirme realizar mis prácticas para adquirir nuevos conocimientos y al Dr. Daniel Isidoro y a la Dra. Farida Dechmi por los conocimientos compartidos. A mi tutora Asún por ayudarme en resolver inquietudes presentados a lo largo de mis prácticas en el manejo del Arcgis. Al coordinador Miguel Sánchez por toda su ayuda a lo largo de mi estancia aquí. A mis padres, hermanos, sobrina y amigos por su apoyo y ánimos en los momentos difíciles, y al Ing. Sotomayor por motivarme e impulsarme en mi superación profesional.

PRESENTACIÓN

La presente memoria de prácticas de Máster de Ordenación Territorial y Medioambiental fue realizada en un periodo de 300 horas comprendido desde el 6 de junio al 27 de julio del 2012.

Las prácticas se llevaron a cabo en gabinete en las instalaciones de la Unidad de Suelos y Riegos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), bajo la supervisión y tutoría del Dr. Daniel Isidoro y de Asunción Julián Andrés profesora de la Universidad de Zaragoza.

El CITA es un organismo público de investigación creado por la Ley 29/2002, de 17 de diciembre, y modificada por la Ley 26/2003, de 30 de diciembre, y por la Ley 6/2006, de 22 de junio. Su objetivo final es conseguir, mediante la investigación, el desarrollo tecnológico, la formación y la transferencia, que las explotaciones agrarias y las empresas agroindustriales innoven continuamente y con ello alcanzar que la población activa agraria, y el resto de la población rural, obtenga una mayor rentabilidad económica y, como consecuencia, una mejor calidad de vida.

La unidad de Suelos y riegos perteneciente al CITA entre una de sus líneas de trabajo es el impacto ambiental de las actividades agrarias en el que su objetivo es mejorar la calidad de las aguas y suelos en el medio agrario aragonés. Minimizar la contaminación difusa (sales y agroquímicos) inducida por la agricultura de regadío. Analizar el efecto de la intensificación agraria sobre la conservación de hábitats de interés. Bajo acciones de cuantificación del volumen y calidad de los retornos de riego mediante balances de masas. Predicción y estrategias de control de la contaminación difusa mediante modelos de simulación. Técnicas de control de contaminación de aguas.

OBJETIVOS

Las prácticas de fin de máster tienen como finalidad:

- Poner de manifiesto los conocimientos adquiridos a lo largo del ciclo de estudios.
 - La utilidad e importancia que representa el uso de cartografía
 - Adquirir la capacidad de manejar y evaluar las diversas metodologías aplicables en el campo ambiental.
 - Vincularse a la toma de decisiones y al trabajo en equipo para obtener resultados favorables en el ámbito territorial como ambiental.
-

Índice

1.	Introducción	pág. 1
1.1.	Riego	pág. 4
1.2.	Calidad de agua de riego y de drenaje.....	pág. 4
1.3.	Nitrógeno	pág. 5
1.4.	Fósforo	pág. 6
2.	Objetivos	pág. 6
3.	Zona de estudio	pág. 8
4.	Material y Métodos	pág. 11
4.1.	Elaboración de la información cartográfica	pág. 11
4.1.1.	Mapa de cultivos	pág. 11
4.1.2.	Mapa de sistema de riego	pág. 11
4.1.3.	Mapa de suelos	pág. 11
4.2.	Elaboración de la información para el balance de agua	pág. 12
4.2.1.	Entradas	pág. 12
4.2.2.	Salidas	pág. 12
4.3.	Balance de sales y nutrientes	pág. 15
4.2.1.	Balance de sales.....	pág. 15
4.2.2.	Balance de nutrientes	pág. 16
5.	Resultados y Discusión	pág. 17
5.1.	Base de datos de la zona de regadío Barranco de la Sardeta	pág. 17
5.1.1.	Cultivos.....	pág. 17
5.1.2.	Sistema de riego	pág. 19
5.1.3.	Caracterización de los suelos	pág. 22
5.1.4.	Interacción tipo de cultivo, sistema de riego y tipo de suelo	pág. 27
5.2.	Balance de agua, sales y nutrientes	pág. 29
5.2.1.	Serie meteorológica diaria de precipitación y evapo- transpiración	pág. 29
5.2.2.	Caudal	pág. 30
5.2.3.	Concentraciones en el agua de drenaje	pág. 31
5.2.4.	Masa de sales, N Y P exportadas por P4	pág. 34
5.2.5.	Masa de nutrientes aportadas por fertilización	pág. 38
5.3.	Balances diarios de agua en el suelo: cálculo de la ETr	pág. 41
6.	Conclusiones	pág.46
7.	Bibliografía	pág. 48
8.	Fuentes	pág. 49

1. INTRODUCCIÓN

Las prácticas agrícolas constituyen un suministro de contaminantes a los ríos como consecuencia del manejo del cultivo y la aplicación de productos químicos para mejorar la capacidad productiva, con lo que la sostenibilidad puede ser afectada, resultando una alteración a nivel agronómico, económico y ambiental (sobre todo, en la calidad del agua). En particular, el regadío, en cuanto que utiliza más agua y más insumos de producción (al tratarse, en general, de una agricultura más intensiva) y tiene una mayor capacidad de movilizar contaminantes (al aumentar sustancialmente los flujos de agua que atraviesan el medio), puede tener unos efectos importantes que es necesario cuantificar.

Los principales efectos adversos del regadío se producen sobre los suelos regados y sobre los recursos hídricos, a través de las aguas de retorno de riego. La continuidad de la práctica del riego en una zona requiere el lavado de las sales que se aportan con el riego o que se movilizan en el suelo y el sub-suelo regados; la existencia de un drenaje suficiente es por tanto imprescindible. El no lavado de esas sales da lugar a la salinización del suelo, uno de los efectos más frecuentes e indeseables del regadío (FAO, 2002). Pero el drenaje de las zonas regables lleva consigo una cantidad de sales superior a la del recurso original (el agua de riego) y arrastra además los agroquímicos utilizados en la producción agraria (Aragüés y Tanji, 2003).

Los principales contaminantes en las aguas de retorno de riego son las sales, los nutrientes (nitrógeno, N, y fósforo, P), los plaguicidas y los sólidos en suspensión (Aragüés y Tanji, 2003; FAO, 1996). En algunos casos, las aguas de retorno pueden dar lugar a problemas de salubridad importantes relacionados con la aparición de zonas encharcadas (transmisión de enfermedades) y los efectos de las aguas residuales sin tratar cuando son usadas para consumo humano o producción de vegetales para consumo en fresco (FAO, 1996).

Los balances de masas constituyen una herramienta útil donde se determinan las entradas y las salidas en un determinado volumen de control de ciertos factores de producción, como el agua o los nutrientes. Los balances de masas se aplicaron por primera vez a sistemas de regadío en relación con las sales (balances de sales) aportadas por el agua de riego y exportadas por el drenaje en el SW de Estados Unidos (Scofield, 1940). Cualquier balance de masas está basado en el principio de conservación de la masa, de acuerdo con el axioma de Lavoisier: "nada se crea ni se destruye, sólo se transforma".

Dado que las salidas de sales y nutrientes de un sistema de regadío se producen en buena medida a través de los flujos de retorno de riego (como sales o nutrientes disueltos en el agua), el paso previo para cualquier balance de sales o nutrientes es realizar un buen balance de agua. El balance hídrico, a nivel del suelo (es decir, efectuado sobre la zona de raíces de los cultivos), consiste en establecer los aportes de agua realizados a través de la precipitación y el riego y las pérdidas ocasionadas por la evapotranspiración desde la vegetación existente (hacia la atmósfera) y por drenaje debajo de la zona de raíces. Otros términos frecuentes en el balance a nivel zona de raíces son la escorrentía superficial y el ascenso capilar desde la capa freática. (Fig. 1)

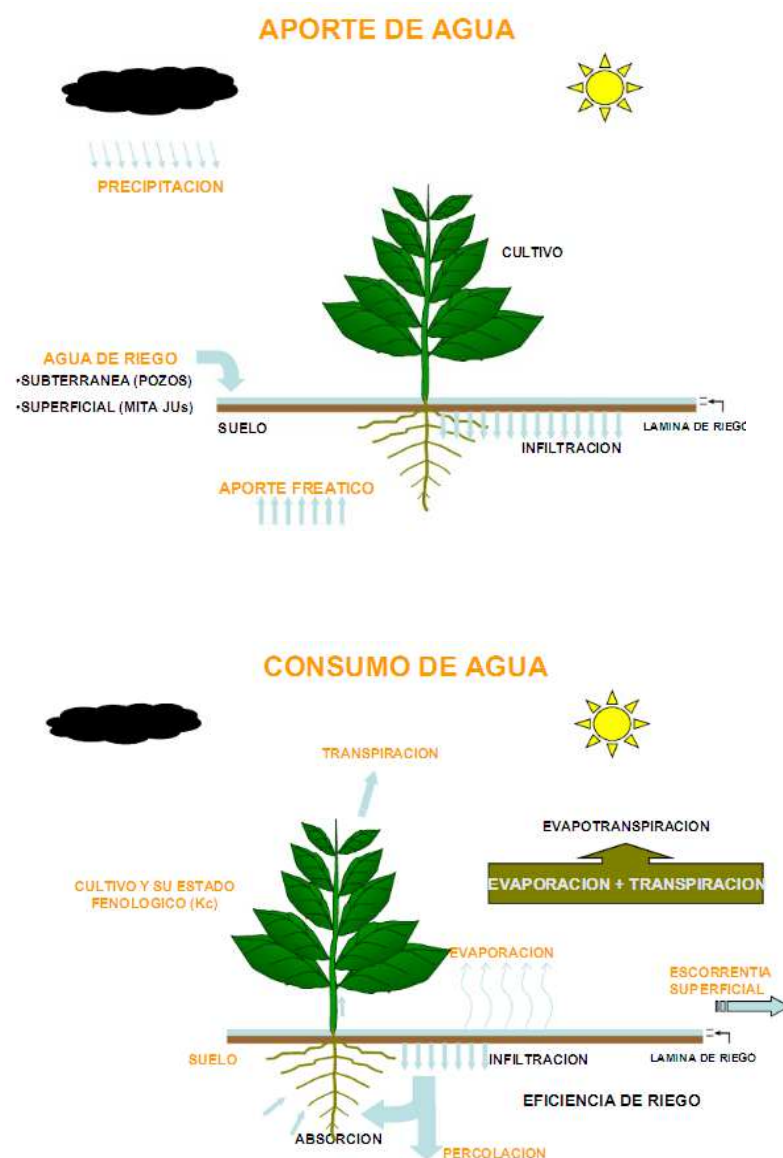


Figura 1. Balance de agua: Entradas y salidas de agua al sistema zona de raíces de los cultivos.

El concepto del balance hídrico puede extenderse a una cuenca o en una región determinada. El establecimiento de un balance hídrico (completo) en una zona amplia supone la medición de flujos de agua (caudales) y de los almacenamientos de la misma (niveles acuíferos y agua almacenada en el suelo). Por medio de las precipitaciones, llega agua a la superficie de la tierra. Parte de estas precipitaciones se evapora en contacto con el aire o es absorbida por las plantas y después transpirada por las mismas, fenómenos que denominaremos de forma general como evapotranspiración. El agua entonces sigue dos caminos: una parte fluye por la superficie de la corteza terrestre y otra parte se infiltra en el terreno. El agua de infiltración aún puede ser captada por el suelo y las plantas, sufriendo entonces fenómenos de evapotranspiración o puede circular hipodérmicamente junto con las aguas que circulan en superficie, denominándose el conjunto aguas de escurrimiento. La parte de agua infiltrada que alcanza una zona más profunda constituye la verdadera agua de infiltración que se junta con las aguas subterráneas alimentando el acuífero. La ecuación de Continuidad se basa en que la diferencia que se produce entre las entradas y las salidas de agua debe ser igual al incremento en el agua que queda almacenada.

La realización de un balance de agua en una zona de regadío requiere (i) definir con precisión el volumen del control, el sistema (en el que se van a controlar las entradas y salidas de agua, incluso, el volumen de agua almacenado); (ii) la definición del período para el que se va a realizar el balance; y (iii) la medición o estimación de las entradas y salidas y del contenido de agua en el sistema. La aplicación del balance hídrico a una zona regable permite conocer el manejo del agua y la evolución temporal del contenido de agua en el sistema y su aprovechamiento, establecer índices globales de manejo del agua (eficiencias de riego) o determinar, por diferencia, términos del balance que no se pueden medir directamente (Barros et al., 2011) (Fig. 2).

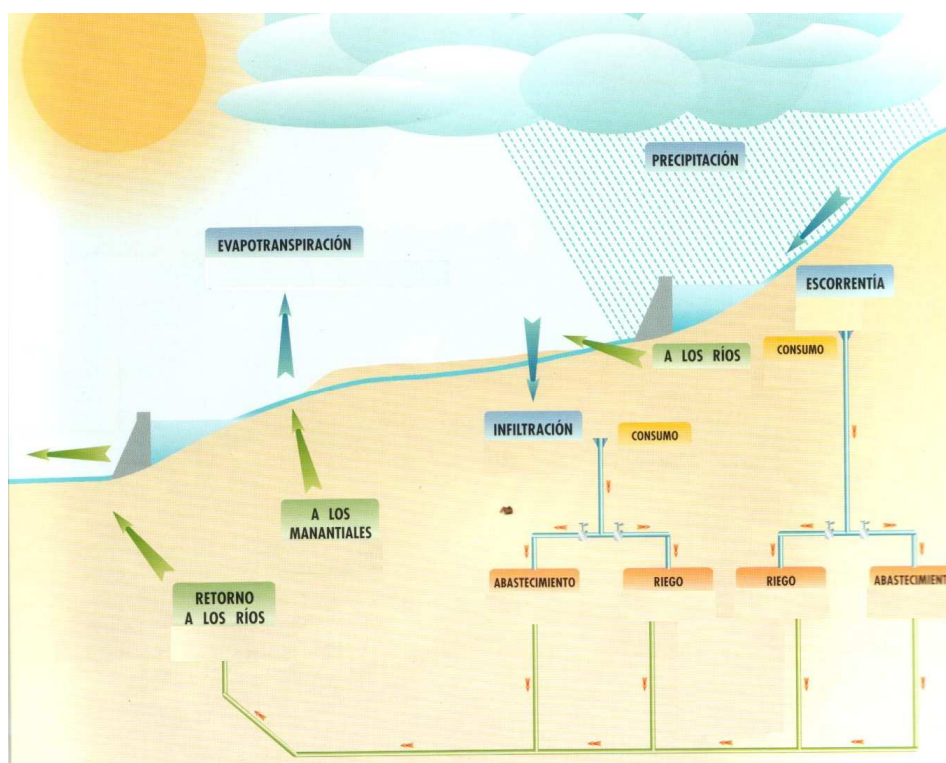


Figura 2. Representación del Ciclo de una cuenca hidrológica con las diferentes fuentes de entradas y salidas de agua.

La aplicación del balance de sales permite establecer si se está produciendo una acumulación de sales en un sistema (las entradas superan a las salidas; en cuyo caso se está produciendo la salinización global del sistema) o un lavado neto de sales (salidas mayores que las entradas, lo que significa que se están disolviendo minerales presentes en el suelo o sub-suelo o movilizand o aguas subterráneas de mayor salinidad). El balance de sales, aplicado a una zona regable, no permite identificar problemas locales de salinización (zonas dentro del área de estudio donde el balance resulte negativo) ni el origen de las sales exportadas (los suelos o los acuíferos y materiales del sub-suelo afectados por el drenaje del riego). De hecho el principal problema del balance de sales, como de cualquier balance de masas, es la definición correcta del sistema objeto de estudio (Scofield, 1940; Thayalakumaran, 2007) y la medición de todos los flujos de entrada y salida del mismo. La definición precisa de los límites del sistema de estudio es esencial para cualquier tipo de balance de masas.

El balance de nutrientes (N y P principalmente) en una zona regable, implica conocer además de las salidas a través del drenaje, las entradas directas aportadas con la fertilización orgánica e inorgánica. Los balances de masas permiten conocer la diferencia entre los aportes y las extracciones de nutrientes del sistema, por lo tanto son herramientas imprescindibles en el control de los sistemas agrícolas: para conocer el nivel de aprovechamiento de los fertilizantes (un recurso caro) y para

establecer el efecto de los nutrientes sobre la calidad de las aguas que reciben los retornos de riego (los niveles de N y sobre todo P son responsables e la eutrofización de las aguas superficiales; FAO, 1996). El manejo adecuado de la nutrición, programas de fertilización y riego de los cultivos permite mejorar el balance produciendo beneficios económicos y ambientales. En ese sentido, la realización de un balance anual o la comparación de los balances bajo prácticas de manejo distintas, permiten establecer qué prácticas de manejo (riego y fertilización) son responsables de las pérdidas de nutrientes y ayudar a definir las prácticas de manejo más adecuadas (Barros et al., 2012; Jiménez-Aguirre e Isidoro, 2012).

A continuación se presenta una discusión breve de algunos de los factores de producción más importantes en los sistemas de regadío: el sistema de riego, la calidad del agua de riego, el nitrógeno y el fósforo.

1.1. Riego

El método principal de entrega de agua al campo (para cerca del 95 por ciento de los proyectos en todo el mundo) es el riego por inundación. Otros sistemas emplean aspersores y riego de goteo. Aunque sean técnicas relativamente nuevas, que requieren una inversión inicial más grande y manejo más intensivo que el riego de superficie, el riego por aspersión y el de goteo suponen una mejora importante en la eficiencia del uso del agua, y reducen los problemas relacionados con el riego. Estos métodos son apropiados para zonas donde el agua es escasa, ya que su aplicación se hace en pequeñas dosis y de manera frecuente, consiguiendo con esto un mejor control de la aplicación del agua y algunos otros beneficios agronómicos.

El riego localizado supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá por tanto, a una mayor productividad. Implica un cambio profundo dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá también en las prácticas culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de Producción agrícola. Sus principales características son: (i) El agua se aplica al suelo desde una fuente que puede considerarse puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en dirección horizontal y vertical. En esto difiere sustancialmente del riego tradicional en el que predominan las fuerzas de gravedad y por tanto el movimiento vertical; (ii) No se moja todo el suelo, sino solamente una parte del mismo, que varía con las características del suelo, el caudal del emisor y el tiempo de aplicación; y (iii) El nivel de humedad que se mantiene en el suelo es cercano a la capacidad de campo, lo cual es muy difícil conseguir con otros sistemas de riego, pues habría que regar diariamente y se producirían encharcamientos y asfixia radicular.

En general, la agricultura de riego es más productiva que la de secano. La razón de esta diferencia es que en las zonas regadas se obtienen mejores rendimientos en las cosechas y los productos generalmente son de mejor calidad. Las razones por la que los rendimientos aumentan cuando los cultivos se riegan apropiadamente son varias, entre las que destacan al menos cuatro; (1) seguridad de un buen desarrollo de los cultivos sin déficits hídricos, (3) pueden crecer más plantas por hectárea, (2) un uso más eficiente de los fertilizantes, y (4) pueden utilizarse mejores variedades, más productivas, las cuales se han desarrollado para la agricultura de riego. Pero por otro lado, la expansión e intensificación de la agricultura que facilita el riego, puede causar mayor erosión; contaminar el agua superficial y freática con los biocidas agrícolas; reducir la calidad del agua; y, aumentar los niveles de nutrientes en el agua de riego y drenaje, produciendo el florecimiento de las algas, la proliferación de las malezas acuáticas y la eutrofización de los canales de riego y vías acuáticas, aguas abajo (EcuRed, 2012).

1.2. Calidad de agua de riego y de drenaje

El retorno de los flujos de agua (IRF) en la agricultura se considera como una contaminación no puntual. Esta descarga difusa es inevitable (necesaria para la sostenibilidad del regadío) ya que la agricultura de regadío no puede sobrevivir sin el lavado de las sales y otros componentes en cantidades excesivas en la zona radicular; por lo que éstas se exportan con las aguas de drenaje. La tarea principal sobre la viabilidad y la sostenibilidad de la agricultura de regadío es el logro de un equili-

brio adecuado para la optimización de la producción de los cultivos y la minimización de los daños ambientales y, finalmente, encontrar una destino aceptable (social y ambientalmente) de los IRF (Aragües, 2003).

El tipo de agua que se utiliza como agua de riego tiene dos efectos importantes: (i) a corto plazo influye en la producción y la calidad del cultivo. (ii) a largo plazo ciertas aguas pueden perjudicar el suelo hasta hacerlo totalmente inservible para la agricultura. La calidad de agua para irrigación está determinada por la cantidad de tipo de sales que la constituyen. La concentración de sales en el agua de riego reduce el agua disponible para los cultivos. La salinidad de un agua es la medida de la cantidad de sales disueltas que contiene. La conductividad eléctrica (CE, normalmente dada a una temperatura de referencia, 20°C o 25°C) es una de las más usada, en tanto que el total de sólidos disueltos (SDT) lo es menos, por ser necesitar de análisis más costosos.

Los problemas de permeabilidad están relacionados con la salinidad del agua de riego y con la concentración de sodio en relación a la de los otros cationes mayoritarios. El exceso de sodio es más grave en aguas de baja salinidad y provoca problemas de permeabilidad debido a la dispersión e hinchamiento de las arcillas (FAO, 1985).

Otros de los problemas severos relacionados a la calidad del agua es la alta concentración de nitratos que puede causar problemas de desarrollo en ciertos cultivos (como el encamado de los cereales de invierno). Además, en riego por aspersión, el agua es depositada sobre las hojas y los frutos por lo que reciben las sales de bicarbonatos, yeso o hierro (Castro, 2012) que pueden reducir el valor de la cosecha.

1.3. Nitrógeno

El N es un nutriente esencial para el crecimiento de los vegetales, ya que es un constituyente de todas las proteínas. Es absorbido por las raíces generalmente bajo las formas de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Su asimilación se diferencia en el hecho de que el ión nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo, mientras que gran parte del ión amonio está absorbido sobre las superficies de las arcillas. El contenido de nitrógeno en los suelos varía en un amplio espectro, pero valores normales para la capa arable son del 0,2 al 0,7%. Estos porcentajes tienden a disminuir acusadamente con la profundidad. El nitrógeno tiende a incrementarse al disminuir la temperatura de los suelos y al aumentar las precipitaciones atmosféricas (Miliarium, 2012).

El ciclo del nitrógeno en el suelo en condiciones naturales presenta las siguientes características - El aporte nitrogenado es casi exclusivamente orgánico. Se establece prácticamente una “recirculación” del nitrógeno encerrado en este ciclo. Los aportes minerales son pequeños y proceden de la atmósfera a través del agua de lluvia o de fijación bacteriana. Al ser el nitrógeno mineral escaso hay un equilibrio entre la disponibilidad y la absorción por las plantas. Generalmente hay concentraciones muy bajas de nitrógeno en forma mineral. Como resultado, la posibilidad de pérdidas por volatilización, desnitrificación o lavado son muy pequeños. Ciertamente, el N presente en forma nitrato es soluble y puede movilizarse pero las oportunidades de pérdida son reducidas (Andreu et al, 2006).

Las sales de nitrato son muy solubles, por lo que la posibilidad de que se produzca la lixiviación del anión es elevada y más teniendo en cuenta el bajo poder de adsorción que presentan la mayoría de los suelos para las partículas cargadas negativamente.

El problema ambiental más importante relativo al ciclo del N, es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales. En estos medios los nitratos también actúan de fertilizantes de la vegetación acuática, de tal manera que, si se concentran, puede originarse la eutrofización del medio. En un medio eutrofizado, se produce la proliferación de especies como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie. Este problema puede ser mucho más acusado en el caso de suelos que reciben aportaciones de N mineral u orgánico por fertilización, como es el caso de los suelos agrícolas y particularmente los de regadío.

La cantidad de nitratos que se lixivian hacia el subsuelo depende del régimen de pluviosidad y del tipo del suelo. La mayoría de los suelos poseen abundantes partículas coloidales, tanto orgánicas como inorgánicas, cargadas negativamente, con lo que repelerán a los aniones, y como consecuencia, estos suelos lixiviarán con facilidad a los nitratos. Por el contrario, muchos suelos tropicales adquieren carga positiva y por tanto, manifiestan una fuerte retención para los nitratos.

La textura de los suelos es un factor importante en relación con la lixiviación. Cuanto más fina sea la textura más capacidad de retención presentarán (Miliarium, 2012).

1.4. Fósforo

El fósforo es un macro-elemento esencial para el crecimiento de las plantas. El fósforo participa en los procesos metabólicos, tales como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de los carbohidratos.

El fósforo se encuentra en el suelo en compuestos orgánicos y en minerales. Sin embargo, la cantidad del fósforo disponible en el suelo es muy baja en comparación con la cantidad total del fósforo en el suelo. Por lo tanto, en muchos casos, los fertilizantes de fósforo deben ser aplicados para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo (SMART, 2012).

Desde un punto de vista práctico, interesa conocer las entradas y salidas de P del sistema suelo-planta y cómo es la movilidad del nutriente en el suelo. Como se desprende de la observación del ciclo global del P, la única entrada al sistema proviene del agregado de fertilizantes fosfatados, mientras que las salidas pueden ser por extracción en los granos cosechados (la más importante en situaciones de erosión mínima); erosión; escurrimiento, lixiviación (de escasa importancia, como se mencionará más adelante). A medida que el P disponible en la solución del suelo es absorbido por las plantas, es repuesto a partir de la mineralización del humus, de las fracciones más lábiles de las arcillas y en forma mucho más lenta, desde la mineralogía primaria. Este reaprovisionamiento de P hacia la solución del suelo, se realiza mediante un equilibrio químico dinámico. En sistemas agrícolas sin problemas de erosión, la principal salida de P se efectúa por la extracción en las cosechas, ya que la lixiviación es prácticamente nula debido a la reducida movilidad del P en el suelo.

La principal diferencia entre el N y el P en cuanto a su movilización en las aguas de drenaje (y su posible destino final como contaminantes de las aguas) es que el N se mueve principalmente en el agua de drenaje (dada la solubilidad del ion NO_3^-) y es característico pues de las aguas sub-superficiales; mientras que el P tiende a absorberse en las partículas de materia orgánica y arcilla y es transportado sobre todo por las escorrentías superficiales.

2. OBJETIVOS

La Unidad de Suelos y Riegos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón (RAA), ha venido realizando estudios que tienen por finalidad conocer el impacto medioambiental y el grado de aprovechamiento del agua en sistemas de regadío de la Cuenca del Ebro.

En colaboración con la CHE, se han ejecutado balances de aguas, sales y nitrógeno en cuencas hidrológicas grandes con presencia importante de regadío, con lo que se han establecido las eficiencias de riego y las cargas de contaminantes exportados por hectárea en los principales regadíos de Aragón (cuencas del Alcanadre, La Violada, Clamor Amarga, Barranco de La Valcuerna y Arba; CITA, 2006, 2007, 2009, 2011).

Otros trabajos se han desarrollado con participación de RAA y CHE en cuencas pequeñas de regadío dentro del sistema de RAA. En estas cuencas pequeñas, se ha realizado el balance hídrico y se han establecido las masas exportadas de sales, N y P y también se está realizando el seguimiento de las concentraciones de los plaguicidas de uso más frecuente en los cultivos de la zona. Al tratarse de cuencas más pequeñas, el detalle de los balances de agua y de la determinación de las entradas es

mayor que en las cuencas grandes y los resultados obtenidos en algunas de estas cuencas se han podido emplear en la calibración y aplicación de modelos de movimiento de N (APEX en La Violada; Cavero et al., 2012), de P (SWAT en el B^{co} del Reguero; Skhiri y Dechmi, 2012) o de sales (CIRFLE, también en La Violada; Barros et al., 2009) y en el desarrollo de índices de riesgo de contaminación por fósforo (en el B^{co} de Las Filadas; Stambouli, 2008). En total, se están controlando 6 cuencas pequeñas de regadío en el sistema de RAA, además de La Violada y La Valcuerna (también relativamente pequeñas pero incluidas en los convenios de la CHE).

El objetivo final de todos estos trabajos es determinar la contaminación inducida por el regadío (masas de sales y nutrientes exportadas) y su relación con las prácticas culturales y de manejo del riego; con lo que se pretende establecer recomendaciones de manejo del sistema agrario que permitan un equilibrio entre la producción y el medio ambiente sin afectar a las generaciones futuras.

Este trabajo se integra dentro de los estudios desarrollados por la Unidad de Suelos y Riegos del CITA en colaboración con RAA en las cuencas pequeñas del sistema, en concreto dentro de la cuenca del B^{co} de La Sardeta. Los objetivos concretos de este trabajo son:

- Delinear los sistemas de riego y los cultivos sobre cada unidad de suelo
- Establecer las propiedades hídricas de los suelos de la cuenca (necesarias para el cálculo de la ETr mediante el balance de agua en el suelo)
- Elaborar una primera aproximación al balance de masas (agua, sales, N y P) en la cuenca del Bco de la Sardeta (P4) en el año hidrológico 2010
- Calcular las masas exportadas (agua, sales y N-P) en los años 2010 y 2011 y las aportaciones de N y P mediante fertilización en 2011 (encuestas)
- Realizar un primer balance hídrico (con los datos disponibles de riego, aún incompletos) sobre cada tipo de suelo, para obtener la ETr y caracterizar el manejo del riego (sólo sobre un cultivo hasta disponer de datos más detallados de riego).

3. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está formada por el regadío de la cuenca del Barranco de la Sardeta (desagüe D-46 del sistema de Riegos del Alto Aragón, RAA) entre los términos municipales de Grañén y Robres, limitada en el borde SW por el Canal de Monegros (Fig. 3). El B^{co} de la Sardeta es un afluente del Flumen por su margen derecha y su cuenca tiene una superficie total de 4813,28 ha de las cuales 2134,74 ha se encuentran en regadío (1035,81 ha pertenecen a la comunidad de regantes Collarada sección 1 y 1098,93 ha corresponden a la CR Collarada sección 2). La parte regada de la cuenca (la zona de estudio de este trabajo) se encuentra en el tramo inferior de la misma, separada del secano por el Canal de Monegros.

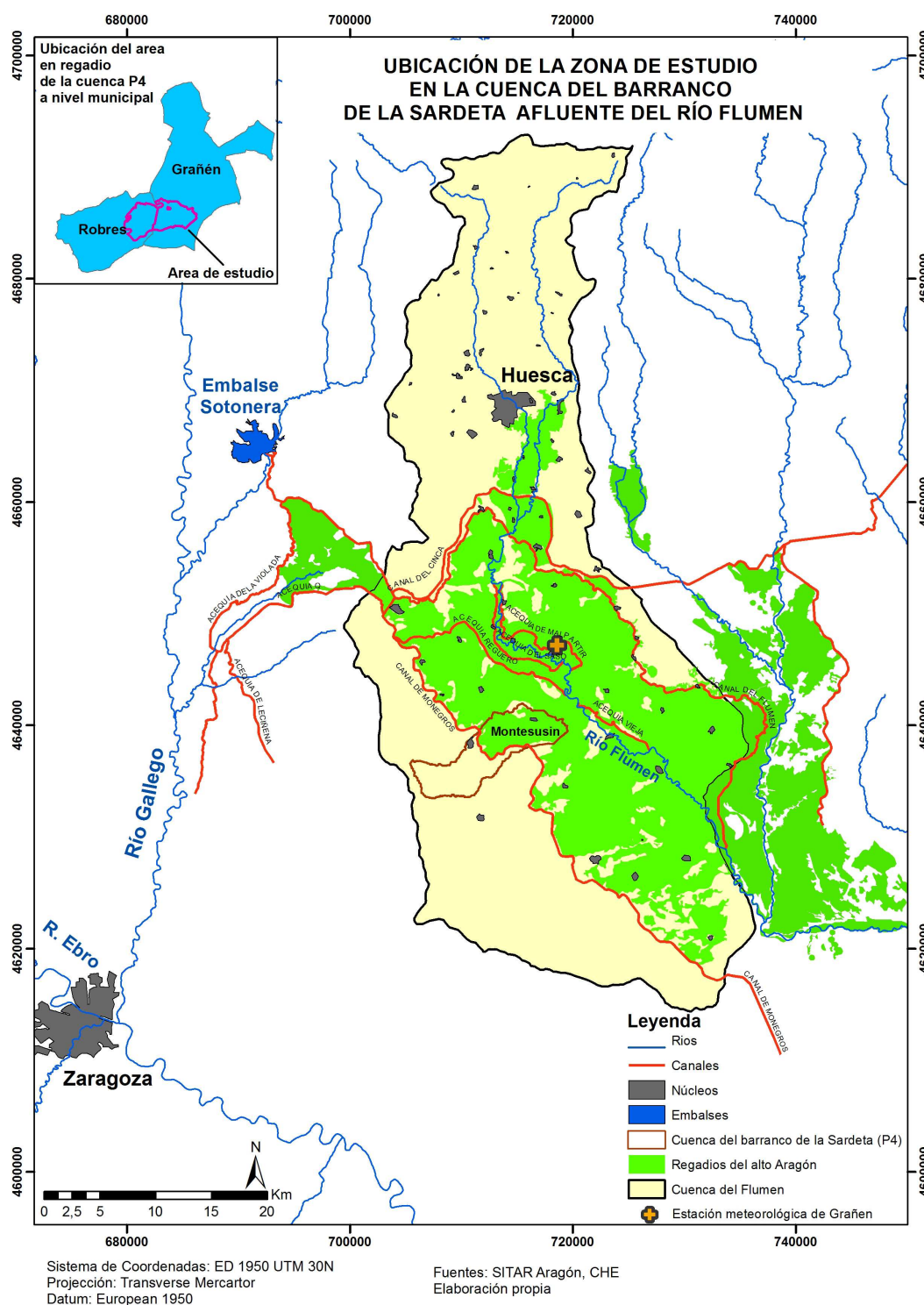


Figura 3. Localización de la cuenca del Flumen y la zona regable del barranco de la Sardeta (P4)

El sistema de Riegos del Alto Aragón comprende unas 120000 ha, ubicadas en la provincia de Huesca, al N (regadíos del Cinca y de Monegros I) y al S (Monegros II) de la Sierra de Alcubierre. Los riegos se abastecen de los ríos Gállego (a través del Canal de Monegros que tiene una longitud de 133 km y un caudal en origen es de 90 m³/s) y Cinca (Canal del Cinca que se abastece de los pantanos de El Grado y Mediano y tiene una longitud total superior a los 88 km, de los que 23 son en túnel y más de dos en acueducto, con un caudal en origen de 74 m³/s).

El Canal del Cinca confluye con el de Monegros en el Abrazo de Tardienta y desde ese punto se riega el área de Monegros I a través del propio Canal de Monegros y desde el Canal del Flumen con una longitud de 59,2 km y una capacidad de 17 m³/s, derivado del de Monegros (Fig. 3). Aguas abajo de Monegros I, el Canal de Monegros cruza la Sierra de Alcubierre para regar la zona de Monegros II. Prácticamente la totalidad de los regadíos de Monegros I drenan a través del Río Flumen.

Las características climáticas de la zona han sido extraídas de los datos de la estación meteorológica de Grañén de la red SIAR, con una altitud de 312 m y coordenadas UTM x=719275 y=4647006, Huso 30 (41°55' N – 0°22' W). Los valores medios mensuales se han obtenido como media de los años 2003 a 2011 (Tabla 1)

Tabla 1. Valores medios mensuales de temperatura media (T media), precipitación (P) y evapotranspiración de referencia (ETo) calculada por el método de FAO Penman-Monteith y valores anuales acumulados de P y ETo y de temperatura media anual periodo 2003-2011. (Fuente: Red SIAR).

MESES	T media °C	P mm	ETo mm
Enero	3,9	20,1	28,2
Febrero	5,3	21,8	41,7
Marzo	8,8	34,6	80,5
Abril	12,7	45,9	107,3
Mayo	17,1	35,3	151,7
Junio	21,6	24,9	179,6
Julio	23,7	14,3	195,7
Agosto	22,8	12,9	171,7
Septiembre	19,0	30,9	111,8
Octubre	13,9	32,9	61,0
Noviembre	8,1	28,9	34,6
Diciembre	3,8	27,6	25,2
Anual	13,4	330,0	1189,1

Se observa que los datos más altos de temperatura media corresponden al mes de julio (23,7 °C) y conlleva una ETo mensual también muy elevada (195.7 mm). En los meses centrales de la estación de riego (junio a agosto) la ETo es de prácticamente 6 mm al día, con una P mensual muy reducida, lo que pone de manifiesto la necesidad del regadío para aprovechar las posibilidades del clima (Fig. 4).

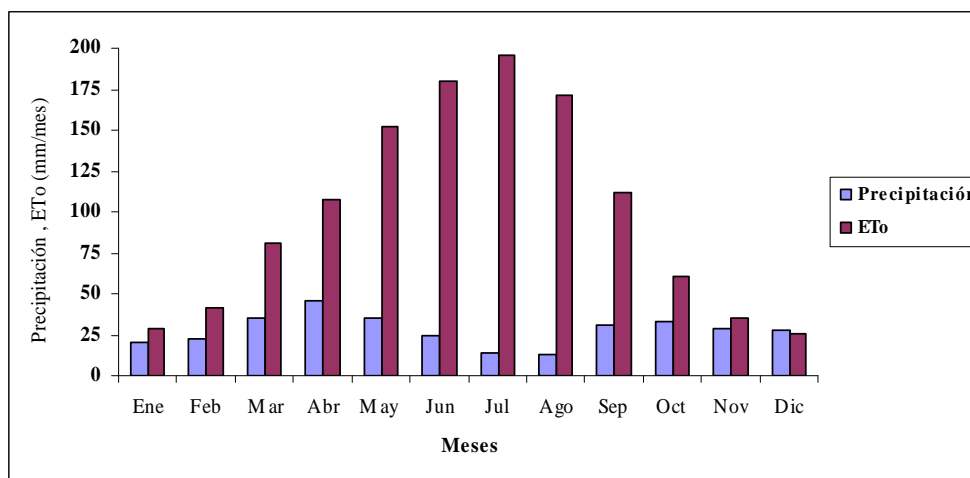


Figura 4. Valores mensuales medios de precipitación y evapotranspiración de referencia periodo 2003-2011.

En la figura 4 se observa que en todos los meses a excepción de diciembre los datos de evapotranspiración son superiores a la precipitación lo que indica que existe un desequilibrio por la falta de lluvia provocando así un estrés hídrico que conlleva una pérdida del potencial de rendimiento.

La precipitación anual total es de tan solo 330 mm, lo que pone de manifiesto la aridez del clima. La distribución de la lluvia es bastante continua a lo largo del año, con un ligero mínimo invernal (enero) y otro más acusado en verano (julio y agosto), características propias de un clima mediterráneo y alejado de la influencia oceánica. Las lluvias más importantes se presentan en primavera (marzo-mayo) y en otoño (septiembre-noviembre), ligadas a irrupciones de aire frío ascendente. Son lluvias derivadas de masas de aire inestables y no provocadas por los frentes, que pueden ser muy fuertes y suelen provocar inundaciones. Según la clasificación de Köppen y teniendo en consideración los datos de la Tabla 1, la zona se caracteriza por un clima semiárido seco y frío (clima de estepa frío BSk).

4. MATERIAL Y MÉTODOS

La preparación de la información disponible para la elaboración del balance hídrico y los balances de masas realizados en este trabajo comprende 3 apartados: (1) la preparación de la información cartográfica necesaria y (2) el tratamiento de la información recogida para el balance de agua y (3) tratamiento de la información relativa al balance de masas.

4.1. Elaboración de la información cartográfica

La preparación de los mapas de suelos, cultivos y sistemas de riego persigue delimitar unidades homogéneas (en cuanto a las propiedades hídricas de los suelos, los cultivos presentes y la ejecución del riego, fundamentalmente las dosis de riego y el intervalo entre riegos) sobre las que se puede llevar a cabo el balance de agua diario en el suelo que permite el cálculo de la evapotranspiración real (ETr), uno de los puntos esenciales de este trabajo. Para ello, durante el año 2010 se han venido desarrollando las actividades de campo que han permitido elaborar un mapa de cultivos, de suelos (estableciendo las propiedades hídricas de los mismos) y de sistemas de riego en el regadío de la cuenca del B^{co} de La Sardeta.

4.1.1. Mapa de cultivos:

El mapa de cultivos del año 2010 se preparó a partir de base de datos del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC), facilitada por el Centro de información territorial de Aragón del Departamento de Política Territorial e Interior, complementada con las informaciones de las comunidades de regantes de los sectores Collarada 1 y Collarada 2 y contrastada mediante salidas de campo en las que se realizó la delimitación y comprobación de usos de suelo en cada una de las parcelas según la base de datos.

4.1.2. Mapa de sistemas de riego:

El sistema de riego de cada parcela de regadío en los ficheros proporcionados por el SIGPAC se estableció en las inspecciones de campo llevadas a cabo en el año 2010. Esta información no es extensible a 2011, puesto que el sistema de RAA está en un proceso de transformación del riego, en el que muchas CR están convirtiendo sus sistemas tradicionales de riego por superficie en riegos por aspersión.

4.1.3. Mapa de suelos:

Para elaborar el mapa de unidades de suelos en la cuenca del Barranco de la Sardeta (P4), se tomó como base la capa de suelos del SITAR (Gobierno de Aragón, 2012), donde posteriormente se delimitaron los diferentes tipos de suelos dentro de la cuenca y agrupándolos por unidades.

Se tomaron muestras de suelo en 26 puntos, a intervalos de profundidad de 30 cm hasta 120 cm o hasta alcanzar un estrato impenetrable. Se tomaron un total de 100 muestras de suelo, es decir, un promedio de cuatro muestras por punto a diferentes profundidades de las cuales se realizaron análisis de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y químicas. A las diferentes unidades se les asignaron los valores medios de capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM), fracción de elementos gruesos (EG), textura y materia orgánica de los diferentes puntos de muestreo incluidos en cada unidad. Los valores de CC y PM, más el porcentaje de elementos gruesos, permiten establecer la capacidad de retención de agua, o agua útil (agua total disponible para el cultivo) de cada unidad de suelo.

Los resultados de los análisis de los 26 puntos de muestreo, incluida la profundidad, se promediaron dentro cada unidad para obtener las características físicas medias de las unidades definidas.

4.2. Elaboración de la información para el balance de agua

El balance de agua de este trabajo se ha restringido a la zona de regadío de la cuenca porque se asume que las entradas desde el secano son muy reducidas, dadas las bajas precipitaciones en la zona (tan solo 330 mm/año) y la inexistencia de un sistema acuífero importante (ITGE, 1998). Las entradas sub-superficiales del regadío adyacente no se han podido evaluar, pero es presumiblemente que los flujos sub-superficiales se dirijan preferentemente hacia los desagües o colectores más cercanos, hacia los que se presenta una mayor pendiente y a los que vierten los tubos de drenaje instalados en muchas parcelas.

El balance de agua, simplificado, para la zona de estudio, toma la forma:

$$\Delta W = (R + P) - (ETr + Q)$$

Donde las entradas son el riego (R) y la precipitación (P), y las salidas consideradas, la evapotranspiración real de los cultivos (ETr) y la salida del drenaje a través del B^{co} de la Sardeta (Q). El término ΔW corresponde a la variación del volumen de agua almacenado en el sistema a lo largo del tiempo de realización del balance. En el sistema suelo-acuífero definido en el apartado anterior, este incremento se corresponde con el aumento del nivel freático y del agua almacenada en la zona no saturada. Normalmente, se considera que esa variación es despreciable frente a los flujos totales de agua a lo largo de un año hidrológico, dado que el volumen de agua en el sistema al inicio de cada año hidrológico es sensiblemente parecido.

4.2.1 Entradas

▪ Precipitación (P)

Se han recogido datos diarios de precipitación correspondientes al periodo de octubre del 2009 a septiembre del 2010 de la estación meteorológica de Grañén de la red SIAR seleccionada por la cercanía a la zona de estudio (Oficina del Regante, 2012).

▪ Riego (R)

Únicamente se dispone de los volúmenes de riego mensuales suministrados a las comunidades de Collarada 1 y Collarada 2 (información facilitada por la CHE). Como la superficie regada en cada comunidad no se corresponde con la de la cuenca del B^{co} de la Sardeta, estos datos no son una aproximación válida al volumen de agua de entrada en el sistema, R. Las entradas de agua por riego al sistema se establecerán a través de los aportes diarios por cada toma de las CR de Collarada 1 y Collarada 2 que riegan la superficie interior a la cuenca de estudio; pero esta información, facilitada también por la CHE, aún no está disponible. Ésa será la información que permitirá establecer el término R del balance.

A partir de esta información por toma de riego y las prácticas de riego establecidas en las encuestas se podrá determinar correctamente las entradas diarias por riego para el balance hídrico en el suelo que permite el cálculo de ETr. Pero para este trabajo, la determinación precisa de R queda pendiente y el cálculo de ETr se ha realizado solo para un cultivo bajo cada sistema de riego y en cada unidad de suelo, sobre la base de las prácticas típicas de riego, únicamente a modo de ejemplo por el interés de sus resultados.

4.2.2. Salidas

▪ Evaporación real (ETr)

Otro término fundamental del balance hídrico son las salidas por evapotranspiración, que incluyen las pérdidas de agua a la atmósfera desde la superficie cultivada. El cálculo de evapotranspiración del cultivo se ha realizado en base a la metodología de la FAO en el que utiliza datos meteorológicos y coeficientes de cultivo, más un término de estrés hídrico que depende del contenido de

agua en la zona de raíces (FAO, 2006). Para ello, se ha realizado un balance de agua diario en la zona de raíces.

La mejor información posible para realizar balances de agua en el suelo (cálculo de ETr) es la de las entradas diarias de agua a cada parcela, según su cultivo, tipo de suelo y sistema de riego. Con esa información se pueden determinar las prácticas de riego medias para cada cultivo en cada unidad de suelo y según el sistema de riego: esas prácticas consisten en una dosis media de riego y un intervalo medio entre riegos, así como unas fechas de aplicación aproximadas basadas en el intervalo entre riegos y las fechas de inicio del riego. Esta información se obtiene normalmente a través de las comunidades de regantes y de encuestas a los agricultores; pero además es necesario finalmente, contrastar los volúmenes de riego totales obtenidos de esta manera con los volúmenes de riego servidos en la zona de estudio (que constituyen el término R del balance de agua). Desafortunadamente, para los años de estudio no se contaba con los datos de volúmenes de riego a nivel de parcela. Por eso, el balance hídrico que se ha aproximado hasta el momento y que se presenta en este trabajo se reduce al balance hídrico del cultivo de maíz regado por aspersión e inundación (con las características medias de ambos tipos de riego establecidas mediante encuestas) y sobre las 3 unidades de suelo definidas.

Para el balance de agua en el suelo, se utilizaron datos de precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_o) diarias adquiridos de la estación meteorológica de Grañen de la red SIAR, así como el tipo de riego y los datos de las propiedades físicas de cada una de las unidades de suelo determinadas, tales como capacidad de campo, punto de marchitez, profundidad de las raíces y el porcentaje de piedras.

En el cálculo de la ET de cada cultivo se emplea la duración de cada etapa fenológica, tomadas de Martínez-Cob (2004). Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de K_c correspondiente a un cultivo determinado, también variara a lo largo del periodo de crecimiento del mismo. Este periodo de crecimiento se puede dividir en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada (Fig. 5). Los coeficientes de cultivo para cada etapa se tomaron del manual 56 de la FAO (FAO, 2006). La utilización de un coeficiente de estrés y el modelado de estrés hídrico (mediante el balance de agua diario en el suelo) permite establecer la evapotranspiración real (ETr) de los cultivos que se encuentran fuera de las condiciones óptimas (como es el caso de vegetación en situación de estrés hídrico) en contraposición a la evapotranspiración máxima posible para ese cultivo (ET_c).

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

$$ETr = K_s \cdot ET_c = K_s \cdot K_c \cdot ET_o$$

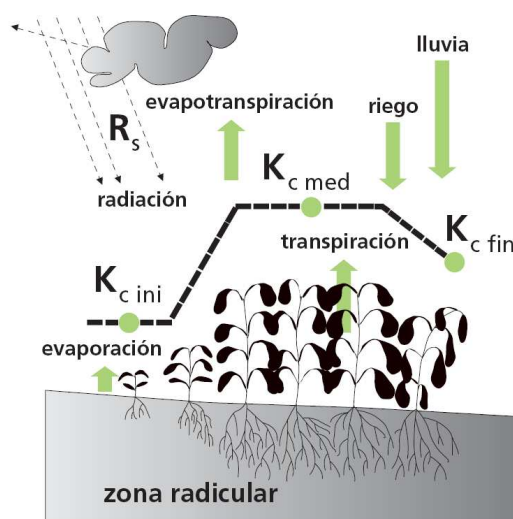


Figura 5. Coeficientes de cultivo (K_c) correspondientes a cada etapa de desarrollo del cultivo (FAO, 2006).

El coeficiente de estrés (Ks) es una función del contenido en agua en el suelo (W) en relación a la capacidad de retención de agua del mismo (agua total disponible para el cultivo: CC-PM) y la relación entre el agua fácilmente disponible y el agua total disponible.

La evapotranspiración que tiene lugar en una superficie cultivada puede se puede medir directamente a través de los métodos de transferencia de masa o del balance de energía. También se puede obtener a partir de estudios del balance de agua en el suelo en campos cultivados o a través de lisímetros. Lo más usual es utilizar estas medidas directas para establecer los coeficientes de cultivo (Kc) que permiten relacionar la ET medida en condiciones satisfactorias de provisión de agua al cultivo (ETc) con la ET de referencia estimada a partir de datos meteorológicos mediante ecuaciones como la de Penman-Monteith.

Para el balance de agua diario en el suelo se tomaron los datos diarios de precipitación y las prácticas de riego (dosis e intervalos entre riegos) medias aproximadas para riego por aspersión e inundación establecidas mediante encuestas para los riegos de la cuenca del Alcanadre (CHE, 2011). Para el cultivo de maíz, el único que se presenta en este trabajo, se aplican una media de 7 riegos con una dosis de 130 mm por riego, distribuidos entre finales de mayo y finales de agosto, sin riegos de presembrado (en abril). El intervalo mínimo entre riegos es de unos 13 días, debido a las limitaciones del sistema de distribución. En riego por aspersión, se aplican una media de 55 riegos (aproximadamente), también entre finales de mayo y finales de agosto, y la dosis es de unos 12 mm diarios.

Para cada unidad de suelo se utilizaron las propiedades medias de agua útil establecidas a partir de la CC, PM, fracción de elementos gruesos y profundidad de la unidad.

La metodología empleada en los balances se describe en detalle en CHE (2011). Para la primera fase del cultivo, se utiliza un coeficiente de cultivo dual que permite desglosar al evaporación desde el estrato superficial del suelo (de 15 cm) dominante en esa fase de cultivo poco desarrollado, de la transpiración real del cultivo, que es la que interesa desde un punto de vista productivo. Para ello se toman los coeficientes basales de cultivo para la fase inicial propuestos por FAO (2006) ($K_{cb_{ini}} = 0.15$ en el caso del maíz). Los resultados del balance incluyen los flujos de entrada al suelo: P y R; los flujos de salida: ETr; drenaje del suelo, D; y pérdidas por evaporación y arrastre, PEA, en el caso de riego por aspersión; y la precipitación efectiva (fracción de P que es utilizada para ETr). Con estos valores agregados para la estación de riego, de abril a septiembre, pueden elaborarse índices de calidad del riego que definen el uso del agua a nivel de parcela en ese cultivo:

Eficiencia de riego: $EfR = 100 (ETr - P_{ef}) / R$

Déficit hídrico $DH = (ETc - ETr) / ETc$

La EfR expresa la fracción del agua de riego aplicada que es evapotranspirada (despreciando el uso del agua almacenada en el suelo por los cultivos). El déficit hídrico es la diferencia entre la ET potencial del cultivo (ETc) y la realmente alcanzada (ETr) expresada como porcentaje de la ETc. En el déficit hídrico, DH, sólo se considera para la primera fase de cultivo la transpiración del cultivo (potencial, es decir, $Tc = 0.15 \cdot ETo$ y real, Tr, calculada a través del balance para toda la profundidad del suelo) descontándose la evaporación desde el estrato superficial del suelo (CHE, 2011).

▪ Caudal de salida (Q)

Durante el año hidrológico 2010 (octubre de 2009 a septiembre de 2010) y la estación de no riego de 2011 (octubre de 2010 a abril de 2011) las salidas de agua de agua por el punto P-4 (punto de control en la parte baja del Barranco de la Sardeta) se controlaron mediante aforos periódicos aproximadamente cada 21 días. En el mes de abril del 2011 se puso en funcionamiento la estación de aforo de P-4. Se trata de un aforador Parshall calibrado para medir el agua en los canales abier-

tos: tiene una sección convergente, una garganta y una sección divergente. La estación se encuentra equipada además con un limnógrafo electrónico (que mide en un pozo de remanso conectado a la sección de control) y un toma-muestras automático (Fig. 6). Además, la CHE ha instalado recientemente en este punto un equipo de transmisión por telefonía de la información hidrológica.



Figura 6. Estación de aforo del punto P4 y detalle de los limnógrafos y equipos de toma de muestras.

4.3. Balances de sales y nutrientes

Respecto al balance de sales y nutrientes, en este trabajo solo se han elaborado las salidas de sales de la zona regable, dado que las entradas se elaborarán cuando se disponga de datos de más precisos de riego. En cuanto al balance de nutrientes (N y P), se han elaborado los datos de entradas por fertilización (obtenidos a partir de encuestas de campo para 2010) y las salidas de nutrientes en el agua de drenaje.

4.3.1. Balance de sales

▪ Salidas

La concentración de sales en Q se estableció a partir de las muestras de agua tri-semanales y diarias tomadas en el punto P-4. En estas muestras se determinó la conductividad eléctrica a 25°C (CE, dS/m) que se convirtió a sólidos disueltos totales (SDT) mediante la ecuación de regresión obtenida a partir de 11 muestras analizadas en 2009 y 2010, en las que se determinaron los SDT

como suma del residuo seco (peso del residuo obtenido tras evaporar 1L de agua a 105°C) mas un medio del bicarbonato medido por titración (en mg/l).

$$\text{SDT} = 906.84 \cdot \text{CE} - 177.15; \quad R^2 = 0.96 \quad (N = 11)$$

La masa de sales en un día determinado se obtuvo como:

$$\text{MS (Mg/día)} = 0.0864 \cdot Q \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot \text{SDT (mg/l)}$$

Donde Q es el caudal medido en el momento de muestreo (hasta abril de 2010, cuando solo se disponía de medidas puntuales de caudal y CE) o el caudal medio diario (desde el 7 de abril de 2010) y SDT que es el valor de determinado a partir de la CE en ese día.

En los meses con solo una o dos muestras diarias (hasta marzo de 2010) se tomó la media de SDT y Q de las observaciones disponibles y con ellas se estimó la masa exportada mensual (multiplicando la masa media diaria por el número de días del mes). Para los meses con observaciones diarias, la masa mensual se obtuvo como suma para el mes de las masas diarias estimadas. Los días con valores perdidos se estimaron por interpolación entre el día anterior y el siguiente.

4.3.2. Balance de nutrientes

- Salidas: medidas en el B^{co} de la Sardeta

El cálculo de las masas diarias y mensuales de N y P en el agua de drenaje se realizó de la misma manera que para la masa de sales, solo que empleando las concentraciones de nitrógeno nítrico (N-NO₃, mg/l; la única forma de N encontrada en las aguas de drenaje) y de fósforo total (PT, mg/l). Los análisis de N y P fueron realizados en los laboratorios de la CHE.

- Entradas: fertilización en la cuenca del B^{co} de la Sardeta

Las entradas por fertilización a la zona de estudio se establecieron mediante un número reducido de encuestas a los agricultores de las comunidades Collarada 1 y Collarada 2 en 2010 y 2011 (en 2011 solo a agricultores de Collarada 2). Aunque el número de encuestas fue pequeño para establecer con precisión las prácticas de fertilización en la cuenca, sí es suficiente para dar una idea de las cantidades aplicadas de N y P en forma de fertilizantes minerales y orgánicos y de las fechas de aplicación, para los principales cultivos de la zona. Estas encuestas se incluyen en un plan más amplio de encuestas que permite conocer las aplicaciones totales en la cuenca de regadío del río Alcanadre y en otras zonas regables (CHE, 2011). En las encuestas se recogió información sobre las prácticas de riego (que confirman los resultados obtenidos en años anteriores para los regadíos del Alcanadre, Monegros I; CHE, 2011); y sobre las dosis, tipo de abono y fecha de aplicación de los fertilizantes minerales y orgánicos. La composición de los abonos minerales empleados se obtuvo a partir de la información de los fabricantes con la ayuda de las cooperativas locales y los datos de contenido en N y P de los distintos tipos de abonos orgánicos se tomaron de Iguacel (2006).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Base de datos de la zona de regadío barranco de la Sardeta P4

El objetivo de este apartado es la preparación de la información disponible sobre la cuenca para la realización de los balances de agua en el suelo que se emplean para el cálculo de la ETr, fundamental para el balance de agua (no incluida en este trabajo por la no disponibilidad de los datos definitivos de riego: solo se presenta el balance preliminar para el cultivo de maíz en el apartado 5.3). Se trata de determinar las superficies de cada unidad homogénea en cuanto a las propiedades de los suelos, el tipo de cultivo y el sistema y prácticas de riego para realizar el balance de agua en el suelo en cada una de esas unidades. La agregación de los resultados del balance de agua en el suelo sobre cada unidad para el conjunto de la zona de estudio da como resultado el volumen total de ETr, un término esencial del balance de agua.

Para este fin es necesario cruzar la información espacial sobre distribución de cultivos, sistemas de riego y tipo de suelos y así obtener una tabla final con la superficie de cada unidad homogénea suelo-sistema de riego-cultivo. Las propiedades hídricas de cada unidad de suelo, establecidas mediante análisis de laboratorio, son también un elemento necesario para la realización de los balances de agua en el suelo.

5.1.1. Cultivos

El mapa de cultivos correspondiente al año 2010 se realizó mediante salidas de campo (registrando el cultivo presente en cada parcela en los meses de abril y julio), mientras que para el año hidrológico 2011 se elaboró con los datos proporcionados por la SIGPAC.

Los cultivos dentro de la cuenca del barranco de la Sardeta se agruparon en las siguientes categorías: Alfalfa, arroz, cereal (trigo, cebada, avena), girasol, maíz, cultivos dobles (cereal-maíz, cereal-girasol, maíz-ray grass y cereal-sorgo), otros forrajes (Ray grass, festuca, esparceta), frutal (almendros, viña y olivos), hortalizas (huerto, patatas), no cultivo y otros (forestal, pasto arbustivo, pasto con arbolado). La distribución de cultivos por parcelas en el año 2010 y 2011 se presenta en la Fig. 7.

En las tablas 2 y 3 indica que el cereal es el cultivo que mayor superficie ocupa dentro de zona de estudio para las dos campañas agrícolas: 84% en 2010 y 57% en 2011 en las dos comunidades de regantes, siendo el cultivo más importante y representativo de la zona, con superficies muy similares en ambos años y algo mayores en Collarada 1 que en Collarada 2.

También hay una superficie considerable dedicada a los cultivos forrajeros en Collarada 1 (19% de la superficie en 2010 y 16% en 2011, excluyendo la alfalfa), y particularmente para la alfalfa que, al revés que los otros forrajes, está más presente en Collarada 2 (16% en 2010 y 2011) que en Collarada 1 (6% en 2010 y 5% en 2011).

Existe otra superficie dedicada al cultivo de maíz que fue superior en Collarada 2 (23% en 2010 y 9% en 2011) que en Collarada 1 (3% y 5% respectivamente en 2010 y 2011), así como la de doble cultivo (23% en Collarada 1 en 2010, el único año con datos, frente al 2% en Collarada 2). En el año 2011 no se consignó ninguna superficie de dobles cultivos ya que en las declaraciones de la SIGPAC solo figura el cultivo principal, y al no realizarse una campaña de campo no se pudo determinar la superficie ocupada por cultivos dobles.

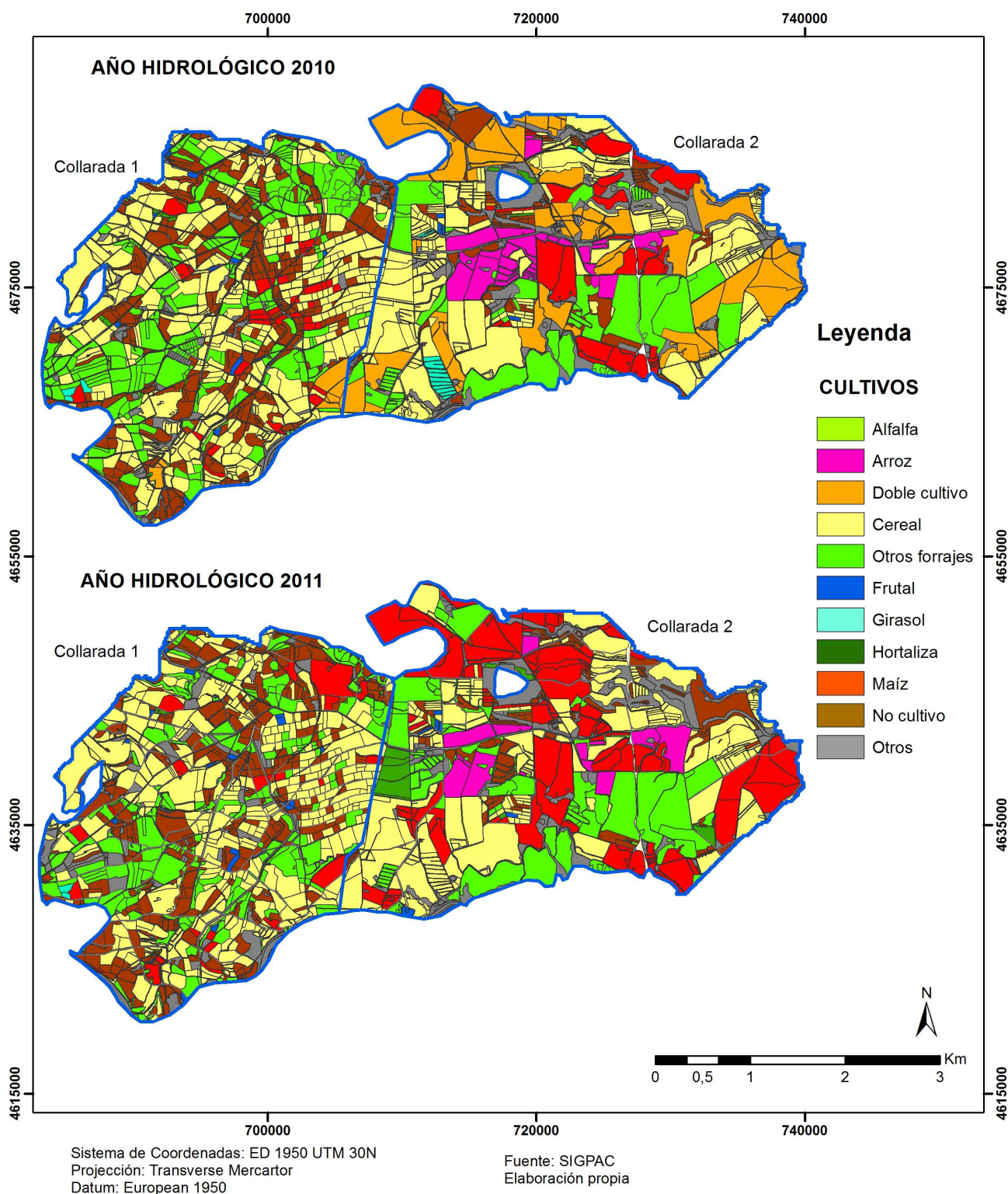


Figura 7. Mapa de cultivos en la zona de estudio durante las campañas agrícolas 2010 y 2011.

El porcentaje de superficie sin cultivar fue claramente mayor en Collarada 1 (en torno al 23% ambos años) que en Collarada 2 (en torno al 5%), mientras que el arroz sólo estuvo presente en Collarada 2, ocupando en torno al 5% de la superficie, siempre sobre parcelas regadas por inundación dentro de esta CR, sólo en 2011.

La diferente distribución de cultivos entre ambas CR obedece al predominio del riego por aspersión en Collarada 2 frente al riego por inundación en Collarada 1 (apartado siguiente) que permite una mayor intensificación de cultivo: presencia de dobles cosechas, mayor superficie de maíz, predominio de la alfalfa entre los cultivos forrajeros y menor superficie en abandono.

Tabla 2. Superficie ocupada por las diferentes coberturas vegetales y porcentaje de ocupación en la zona de regadío de la cuenca del barranco de la Sardeta en el año hidrológico 2010

CULTIVO	Collarada 1		Collarada 2	
	Sup. ha	%	Sup. ha	%
Alfalfa	54,7	5,6	160,5	15,6
Arroz	0,0	0,0	63,6	6,2
Cereal	404,9	41,8	279,2	27,2
Doble cultivo	14,9	1,5	240,3	23,4
Frutal	5,2	0,5	1,7	0,2
Girasol	2,4	0,2	8,7	0,9
Hortaliza	2,8	0,3	2,6	0,3
Maíz	30,2	3,1	92,1	9,0
Forrajes	180,3	18,6	13,1	1,3
No cultivo	224,4	23,2	54,8	5,3
Otros	48,9	5,0	109,4	10,7

Tabla 3. Superficie ocupada por las diferentes coberturas vegetales y porcentaje de ocupación en la zona de regadío de la cuenca del barranco de la Sardeta en el año hidrológico 2011.

CULTIVO	Collarada 1		Collarada 2	
	Sup. ha	%	Sup. ha	%
Alfalfa	44,8	4,6	160,2	15,6
Arroz	0,0	0,0	54,5	5,3
Cereal	412,6	42,0	310,3	30,2
Frutal	7,7	0,8	3,3	0,3
Girasol	1,5	0,2	0,0	0,0
Hortaliza	2,2	0,2	22,8	2,2
Maíz	47,8	4,9	269,9	26,3
Forrajes	152,2	15,5	48,4	4,7
No cultivo	235,1	23,9	65,1	6,3
Otros	79,1	8,0	93,5	9,1

Finalmente, los cultivos de frutales, hortalizas y girasol ocuparon una parte muy pequeña de ambas CR en los dos años de estudio.

5.1.2. Sistemas de riego

Para el año hidrológico 2010, el sistema de riego dominante en la CR Collarada sección 1 fue el riego por superficie, mientras que para la sección 2 fue el riego por aspersión (Fig.8). Para el año 2011 no se contó con información para la realización del mapa con los diferentes tipos de riego. Esa información se ha actualizado en 2012 a partir de las informaciones recogidas en las comunidades de regantes, y permite suponer que la distribución de la superficie de cada sistema de riego fue muy similar en 2011; pero no se dispone de la distribución exacta para 2011. Los sistemas de riego están variando de año en año en el sistema de riegos del Alto Aragón debido a la transformación de los sistemas antiguos de riego por superficie en sistemas de riego por aspersión en muchas comunidades de regantes dentro del Plan Nacional de Regadíos.

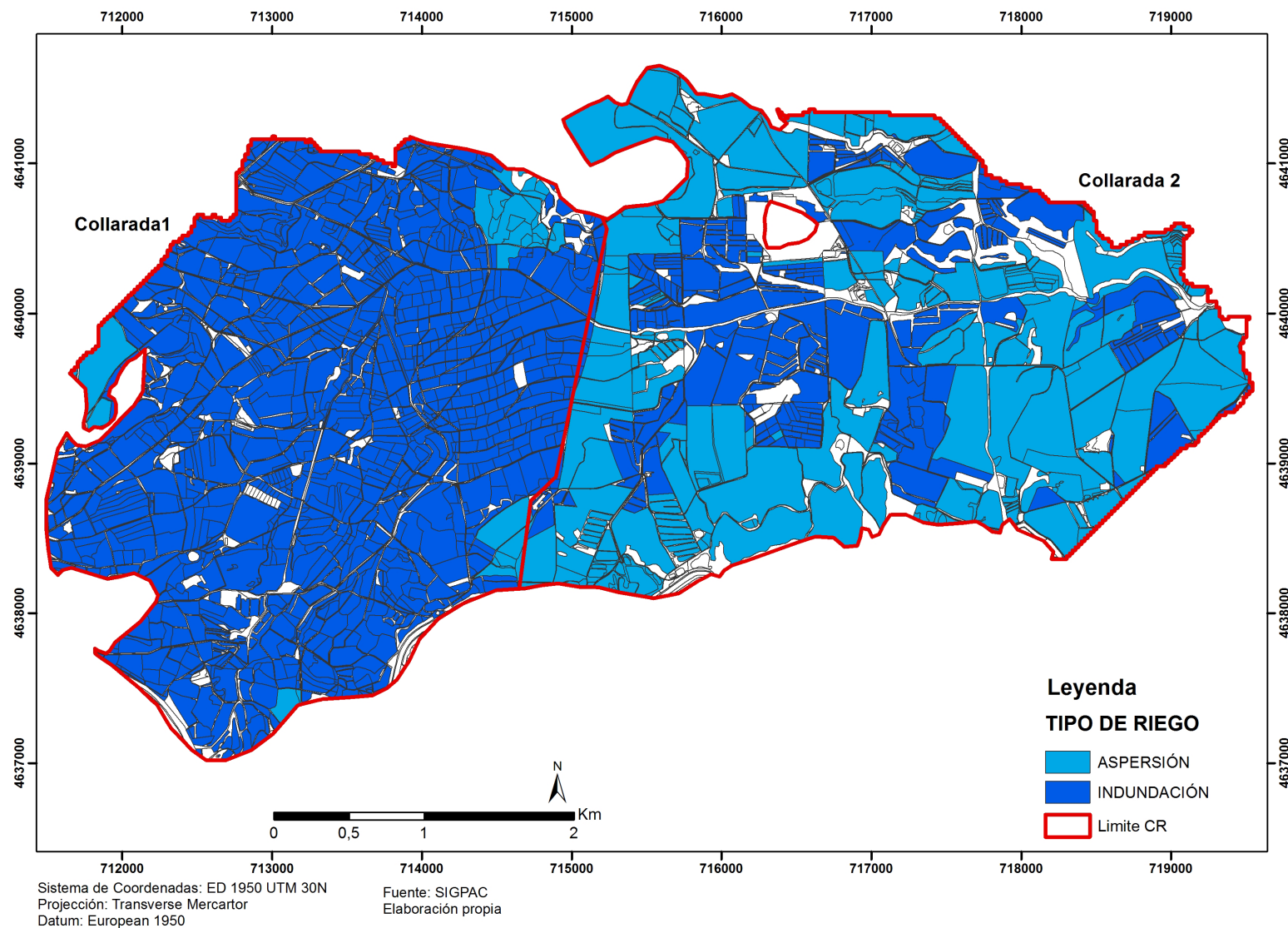


Figura 8. Sistemas de riego en la zona de estudio durante la campaña agrícola 2010.

En Collarada 1, el riego por gravedad representa el 95% de la superficie total (866 ha), mientras que solo alcanza el 31% en la modernizada CR de Collarada 1 (283 ha) (Tabla 4). La modernización de la CR Collarada 2 se ha producido en los últimos años (2007-2008).

En la tabla 4 se observa que en la CR Collarada 1 predomina el riego por inundación y el cereal es el cultivo con la mayor superficie regada bajo ese tipo de riego (391,2 ha), mientras que en la CR Collarada 2 predomina el riego por aspersión siendo los dobles cultivos (236,1 ha), cereal (183,0 ha) y alfalfa (131,8 ha) los más representativos en la zona bajo riego por aspersión. En Collarada 1, únicamente los cereales (el 14% de la superficie de cereal en Collarada 1 se regó por aspersión), la alfalfa (46%) y los dobles cultivos (79%) se regaron por aspersión en 2010. En cambio, en Collarada 2, con el 69% de la superficie en riego por aspersión, casi todos los cultivos principales se regaron en un alto porcentaje por aspersión (el 100% de los cultivos dobles y el girasol, el 82% de la alfalfa y el 73% de los otros forrajes, el 66% de los cereales de invierno y el 46% del maíz como cultivo único).

En el conjunto de ambas CR, el 63% aún estaba bajo riego por superficie en 2010 (1149 ha) frente al 37% modernizado a riego por aspersión (678 ha), siendo los dobles cultivos (251 ha), el girasol (9 ha) y la alfalfa (157 ha) los cultivos más regados por aspersión (Tabla 4). Se trata también de los cultivos o alternativas con un mayor margen económico (especialmente el maíz, aún más como segunda cosecha, y el girasol cuando se cultiva con una visión productiva, no de obtención de subvenciones) lo que justifica que los agricultores rieguen estos cultivos por aspersión, de manera que estén bien provistos de agua durante todo el ciclo de cultivo y no registren pérdidas por estrés hídrico.

Como se ha señalado en el apartado anterior, la diferencia de sistemas de riego entre comunidades es visible en cuanto a la clase de cultivos dominantes en cada una de ellas: mientras en la comunidad de regantes Collarada 1 predomina el cultivo de cereal y el riego por inundación; en Collarada 2 predomina el sistema de riego por aspersión y los dobles cultivos. El riego por aspersión permite una distribución del agua de riego más uniforme en el tiempo, según las necesidades de los cultivos lo que se ve reflejado en los rendimientos. Además, la flexibilidad del riego permite introducir dobles cosechas más fácilmente, como se refleja en la diferencia en la superficie de dobles cultivos entre Collarada 1 y Collarada 2 (Tabla 4).

Tabla 4. Superficie de los diferentes cultivos bajo riego por aspersión (ASP), inundación (IN) y para el conjunto de ambas CR (Total) en las comunidades regantes de la zona de estudio de la cuenca del P4 para el año hidrológico 2010.

Cultivos	Collarada 1		Collarada 2		Total	
	ASP	IN	ASP	IN	ASP	IN
	Superficie (ha)					
Alfalfa	24,9	29,8	131,8	28,8	156,7	58,6
Arroz	0,0	0,0	0,0	63,6	0,0	63,6
Cereal	13,7	391,2	183,0	96,2	196,7	487,4
Doble cultivo	11,7	3,2	239,3	1,0	251	4,2
Frutal	0,0	5,2	0,0	1,7	0,0	6,9
Girasol	0,0	2,4	8,7	0,0	8,7	2,4
Hortaliza	0,0	2,8	0,0	2,6	0	5,4
Maíz	0,0	30,2	42,3	49,8	42,3	80
Forrajes	0,0	180,3	9,5	3,6	9,5	183,9
Otros	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0	0,7
No cultivo	0,0	220,5	12,9	35,7	12,9	256,2
Total	50,3	866,0	627,5	283,3	677,8	1149,3

5.1.3. Caracterización de los suelos

▪ Tipos de suelo

En el área de regadío en la zona de estudio de la cuenca del Barranco de la Sardeta según la base de datos del SITAR (Gobierno de Aragón, 2012), se identifican 3 unidades de suelos según la clasificación de la FAO (FAO, 2006) (Fig. 9):

- Unidad 1: Cambisol cálcico fase petrocálcica. Se localiza en las cotas superiores de los glacis más antiguos, muy extendidos en climas semiáridos desde terrenos ondulados a ligeramente montañosos, siendo menos frecuentes en áreas montañosas. Se dedica a cereal, viñas, frutales, pastos y bosques, estando sujetos a un severo estrés hídrico, siendo normalmente la profundidad la mayor limitación para el cultivo y presentando una alta susceptibilidad a la erosión, permeabilidad media y cantos y calizas cementados. En esta fase, la capa sub-superficial está fuertemente cementada por carbonato cálcico dentro de los 50 cm de profundidad (aunque en la zona de estudio, esta capa aparece generalmente a mayor profundidad (Tabla 5), presentan elevada pedregosidad que ocasiona muchos problemas para el laboreo (Torres, 1983). Ocupa el 52,33% de la zona de estudio.
- Unidad 2: Cambisol Cálcico-Regosol calcáreo Ocupa el 36,46 % de la superficie. Se caracteriza por poseer horizontes antrópicos cultivados de cereales, y con un color que va de pardo a pardo oscuro. Tienen cantidades medias de materia orgánica; están fuertemente carbonatados y su pH tiene tendencia débilmente alcalina; el complejo de cambio está saturado en calcio. Tienen una baja conductividad eléctrica del extracto de saturación. El contenido en arcilla es variable, pero suele ser elevado (27,1% en los análisis de laboratorio) en relación con las otras unidades de suelo dando lugar a una textura franco arcillosa.
- Unidad 3: Xerosol Cálcico-Regosol calcáreo (fase salina). Los xerosoles son suelos que se dan en regiones secas, se caracterizan por tener una capa superficial de tono claro y muy pobre en humus, debajo de la cual puede haber un subsuelo rico en arcillas. Muchas veces presentan manchas, polvo o aglomeraciones de cal a cierta profundidad, así como cristales de yeso o caliche. Los regosoles son suelos poco consolidados en los que los horizontes están frecuentemente muy entremezclados o poco definidos, generalmente se encuentran en secano. La fase salina indica que dentro de una profundidad de 100 cm a partir de la superficie muestran valores de la conductividad eléctrica a 25°C mayores de 4 dS/s, la salinidad puede variar estacionalmente o puede fluctuar como consecuencia de las prácticas de riego. Los xerosoles tienen baja susceptibilidad a la erosión. Representan el 11,21% de la superficie de la zona de estudio.

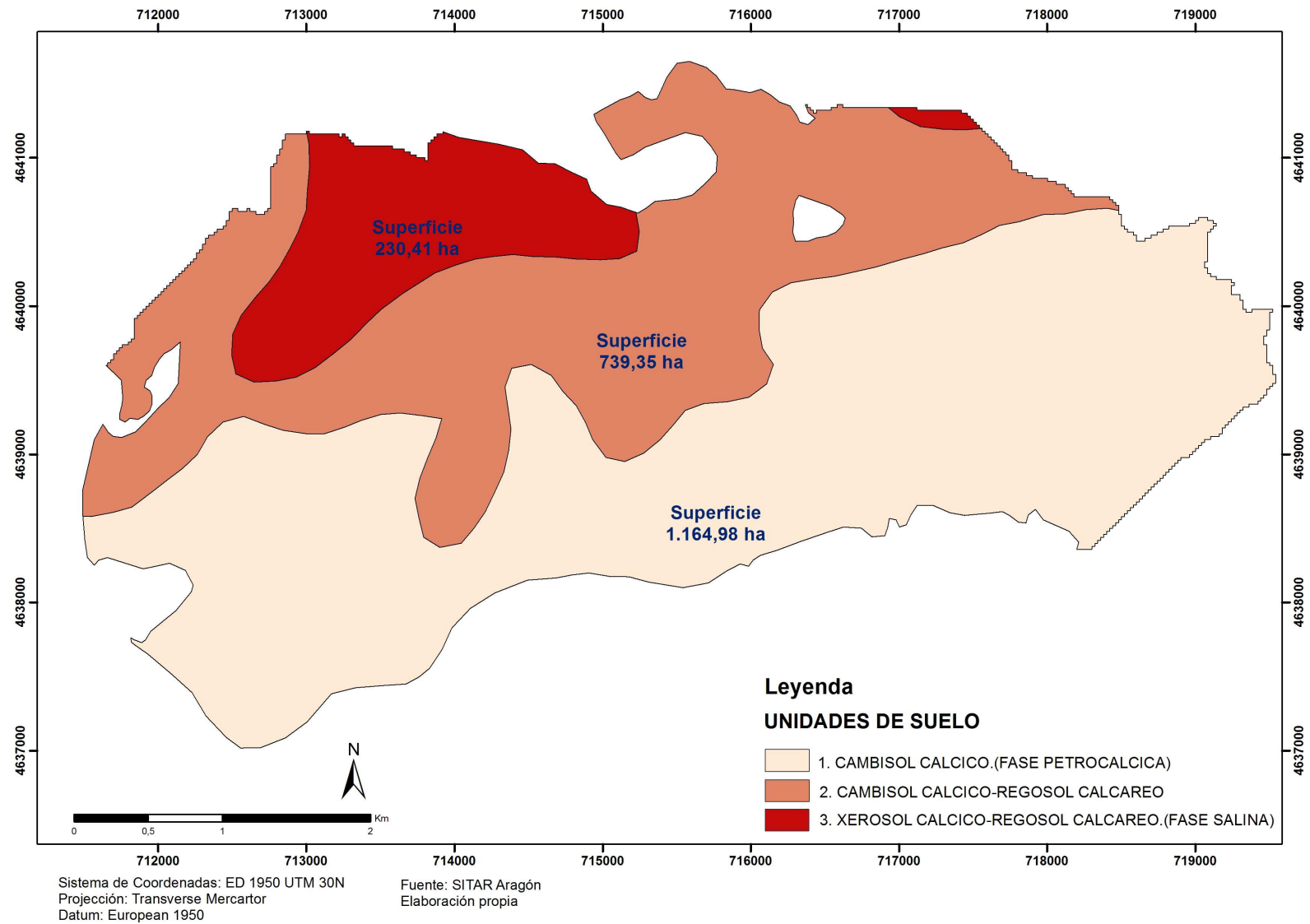


Figura 9. Unidades de suelo identificadas en la zona de regadío de la cuenca del P4 (Fuente: Gobierno de Aragón, 2012).

▪ Propiedades de los suelos

En base a los resultados de laboratorio de 100 muestras correspondientes a 26 puntos de muestreo a diferentes profundidades dentro de las tres unidades de suelo (Fig. 10), se han obtenido los valores medios de contenido de arcilla, limo, arena, textura, agua útil (AU), materia orgánica (MO), fósforo Olsen (P), capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y profundidad del suelo (Z) (Tabla 5).

Las clases texturales presentes en la zona de estudio son la clase franca que se encuentra en las unidades 1 y 3 en donde las fracciones de limo, arcilla y arena están relativamente equilibradas y la clase franco arcillosa (unidad 2) con una textura más fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos.

Tabla 5. Superficie ocupada (S), número de puntos muestreados (N) y clase textural dominante en el perfil (Clase) de cada unidad de suelo de la zona de estudio, y valores medios para el conjunto del perfil del contenido de limo grueso (LG) y fino (LF), Arcilla (Ac) y Arena (Ar), elementos gruesos (EG), materia orgánica (MO), fósforo Olsen (P-Olsen), capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y agua útil (AU) en % de peso sobre suelo seco y profundidad media del perfil (Z).

Unidades*	S (ha)	N	Clase	LG (%)	LF (%)	Ac (%)	Ar (%)	EG (%)	MO (%)	P-Olsen (mg/kg).	CC (%)	PM (%)	AU (%)	Z (cm)
1	1195,37	14	Franca	13,0	36,6	25,8	25,1	1	1,2	16,0	25,0	13,6	11,4	111,4
2	832,94	9	Franco-arcillosa	13,1	33,8	27,7	25,3	1	1,0	14,5	24,5	13,4	11,1	120,0
3	255,91	3	Franca	12,0	24,8	21,4	41,7	0	1,0	18,9	21,0	9,5	11,5	120,0

*Unidades: 1 Cambisol cálcico (fase petrocálcica); 2. Cambisol cálcico-regosol calcáreo; 3. Xerosol cálcico-regosol calcáreo (fase salina).

El contenido de materia orgánica, agua útil y fósforo, son generalmente superiores a profundidades de 0-30 cm (en la capa superficial) dentro de cada unidad de suelo. La unidad 3 (Xerosol Cálcico-Regosol calcáreo fase salina) presenta mayor contenido de fósforo, materia orgánica y agua útil en el horizonte superficial (Figuras 11, 12 y 13).

El contenido de materia orgánica es bajo en toda la zona de estudio, lo que en términos generales conduce a una baja capacidad de retención de humedad y nutrientes, y a una baja fertilidad por lo que se recurre a la aplicación continua de fertilizantes químicos.

El conjunto de materia orgánica, cantidad de materiales gruesos, textura y la profundidad influyen sobre el contenido de agua útil (diferencia entre CC y PM) siendo el más bajo el de la unidad dos (AU = 11,1%) (Fig. 12). Los niveles de fósforo son elevados como resultado de la aplicación de fertilización química y orgánica, siendo los más altos los de la unidad 3 con 19 ppm de media a una profundidad de 120 cm muestreados (Fig. 13).

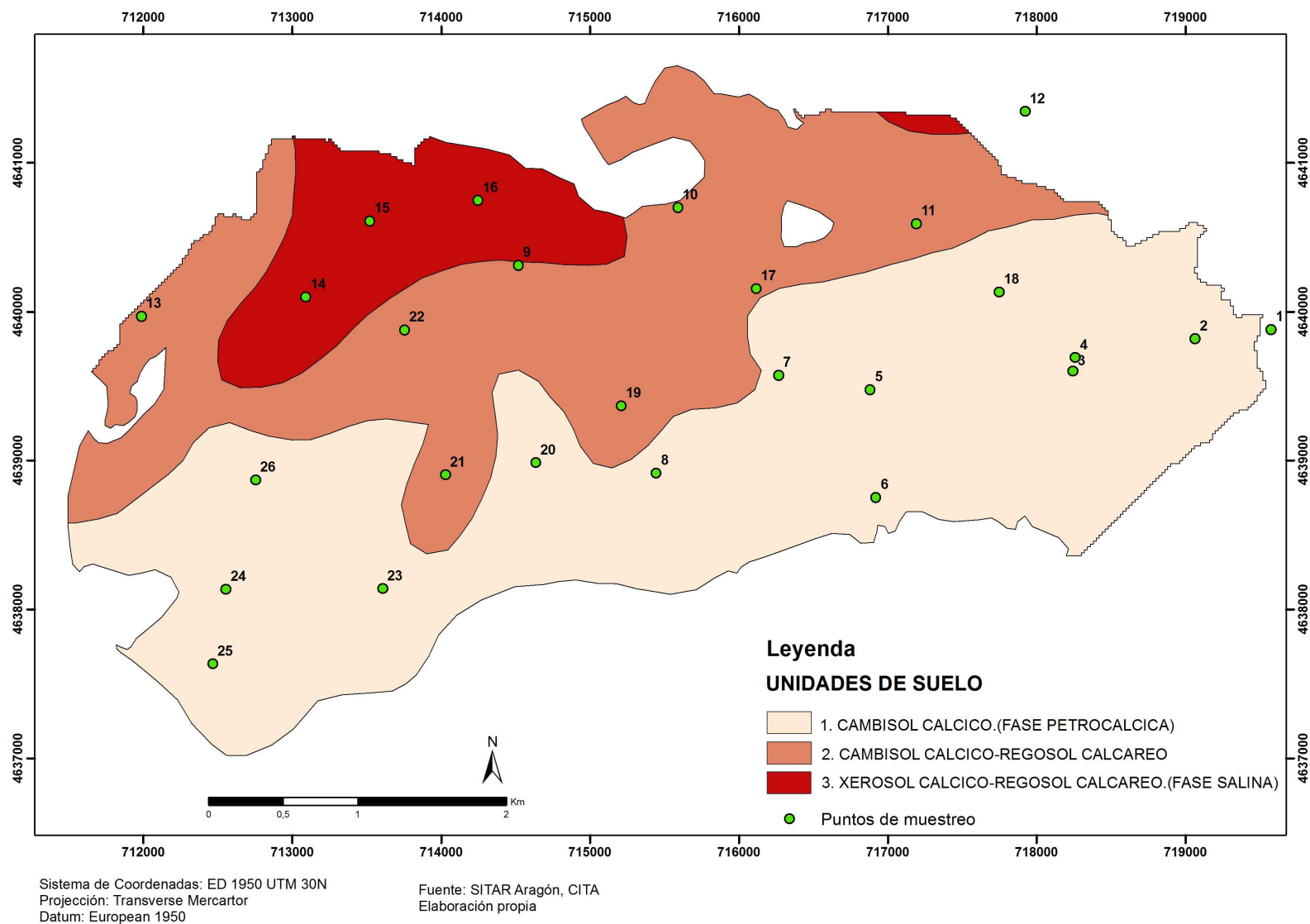


Figura 10. Unidades de suelo y puntos de muestreo en la zona regable de la cuenca del barranco de la Sardeta

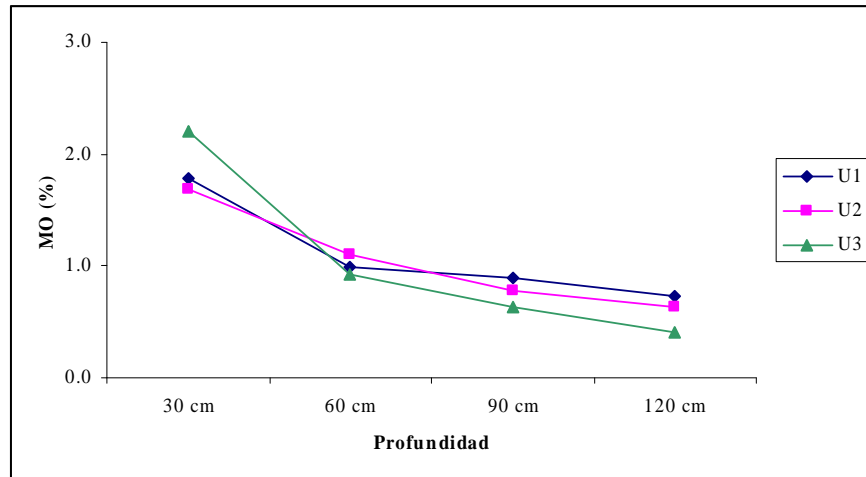


Figura 11. Variación de contenido de materia orgánica (MO) con la profundidad en cada unidad de suelo.

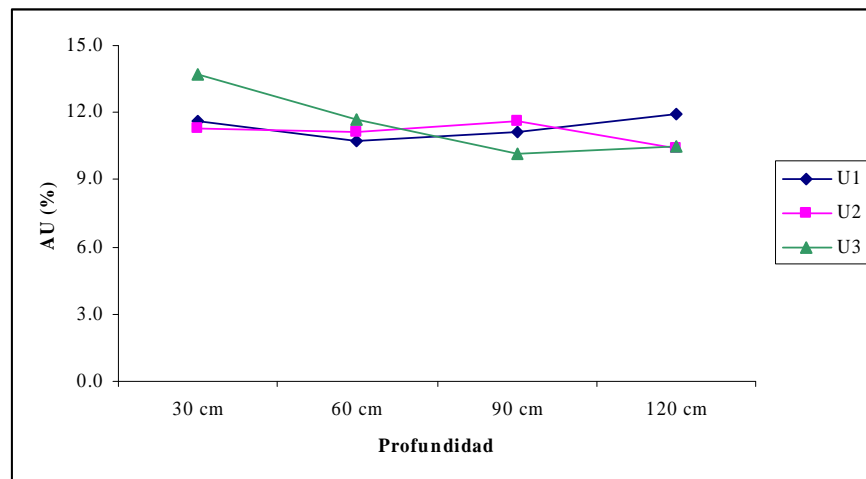


Figura 12. Variación del contenido de agua útil con la profundidad en cada unidad de suelo.

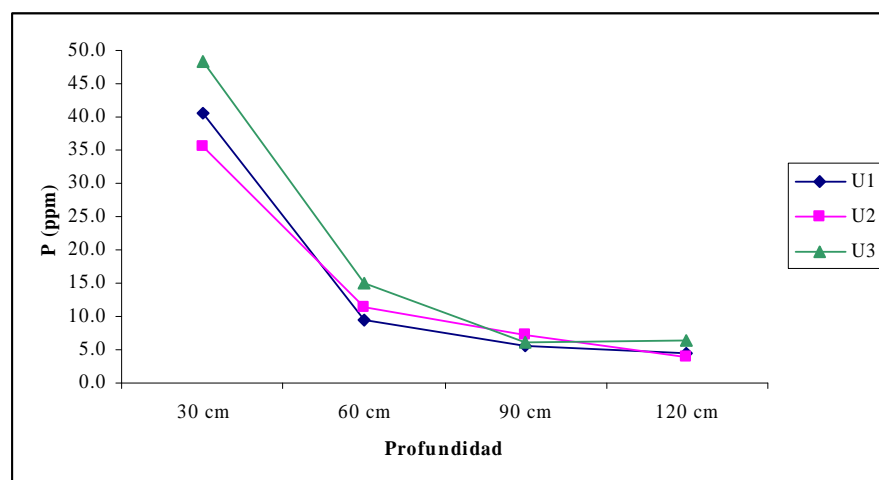


Figura 13. Variación de contenido de P Olsen con la profundidad en cada unidad de suelo.

5.1.4. Interacción tipo de cultivo, sistema de riego y tipo de suelo

A través de la determinación de las superficies de los diferentes cultivos que ocupan las unidades de suelo en la zona de estudio y con su respectivo sistema de riego, se puede calcular el balance de agua diario en el suelo que conduce a la obtención de la ETr, un término fundamental del balance de agua. El objetivo final de la elaboración de esta información cartográfica, es la determinación de las superficies de cada unidad de suelo-riego-cultivo homogénea, sobre las que se podrá calcular el balance de agua y obtener estimas de la ETr. Esas superficies se presentan en la Tabla 6, mientras que su distribución en la zona de estudio se presenta en la Figura 14.

El sistema de riego dominante es por inundación dentro de las tres unidades de suelo. También en las 3 unidades, predomina el riego por aspersión en la alfalfa y en el doble cultivo y el riego por superficie en los cereales; es decir, la misma distribución que se verifica, en líneas generales, para el conjunto de la zona. El tipo de suelo, por tanto, no parece determinar la distribución de los cultivos según el sistema de riego.

Casi todo el riego por aspersión se concentra en las unidades de suelos 1 (representa el 45% de la superficie de la unidad) y 2 (el 32%) en contraste con la Unidad 3 donde está menos implantado (14%) (Tabla 6); en total, el 96% del riego por aspersión se concentra en las unidades 1 y 2. El riego del arroz se practica únicamente en las unidades 1 y 2 (por superficie), posiblemente porque en los suelos menos consolidados de la Unidad 3 es más difícil alcanzar la impermeabilización necesaria mediante las labores de fangueo. Salvo por la distribución del arroz (y por el hecho de que no hay cultivos dobles en la Unidad 3, porque apenas hay riego por aspersión), la distribución de los demás cultivos principales sobre las unidades de suelo (con independencia del sistema de riego) es bastante similar a la del conjunto de la zona, es decir, no hay una influencia perceptible del suelo sobre la distribución de cultivos

Si bien es cierto que el riego por aspersión posee mayores ventajas que el riego por inundación (como permitir un mejor manejo del agua, reduciendo las dosis de riego aplicadas y el tiempo y esfuerzo requerido por parte del agricultor, u obtener mejores beneficios económicos, mediante la introducción de dos cultivos al año), su implementación requiere de una elevada inversión y conlleva unos gastos de mantenimiento y de funcionamiento (la energía sobre todo) muy superiores. Las CR deben ponderar los beneficios que se obtienen de la modernización (transformación de sistemas de riego antiguos por superficie en riegos por aspersión) con los costes de inversión y mantenimiento. Esa es la razón de que no todas las CR de Monegros I hayan optado aún a día de hoy por la modernización.

Tabla 6. Superficie de cultivo y sistema de riego sobre cada unidad de suelo en la zona de regadío de la cuenca del barranco de la Sardeta (P4), año 2010.

CULTIVOS	1. Cambisol cálcico. (fase petrocalcica)		2. Cambisol cálcico- regosol calcáreo		3. Xerosol cálcico- regosol calcáreo.(fase salina)	
	Aspersión	Inundación	Aspersión	Inundación	Aspersión	Inundación
	SUPERFICIE (ha)					
Alfalfa	113,2	35,6	21,5	13,9	21,9	9,1
Arroz	0,0	43,0	0,0	20,6	0,0	0,0
Cereal	114,5	225,7	76,0	203,4	6,2	58,3
Doble cultivo	171,6	3,2	79,4	1,0	0,0	0,0
Frutales	0,0	2,4	0,0	3,8	0,0	0,7
Girasol	7,6	2,4	1,2	0,0	0,0	0,0
Hortaliza	0,0	0,8	0,0	4,1	0,0	0,5
Maíz	33,1	37,5	9,2	40,5	0,0	2,0
No cultivo	0,0	108,7	12,9	87,5	0,0	60,0
Otros	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1
Forrajes	9,5	92,6	0,0	45,7	0,0	45,5
TOTAL (ha)	449,5	551,8	200,1	421,1	28,2	176,3

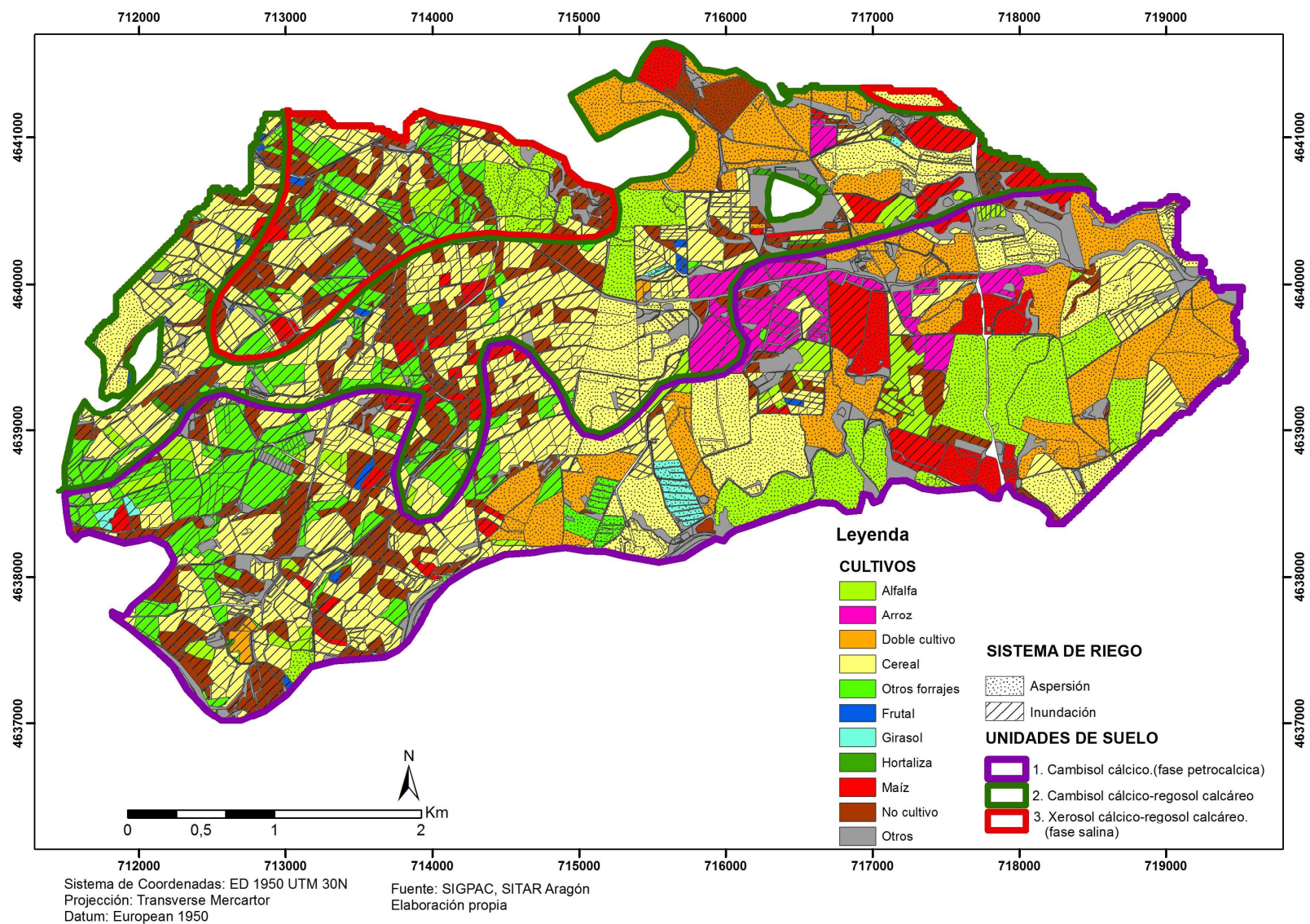


Figura 14. Tipos de cultivo y sistema de riego dentro de cada unidad de suelo de la zona de estudio (año 2010).

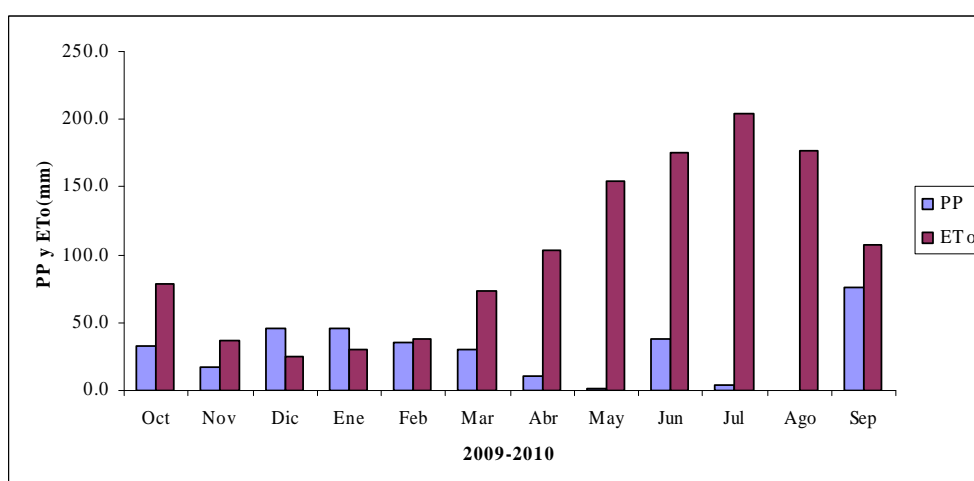
5.2. Balance de agua, sales y nutrientes

5.2.1. Serie meteorológica diaria de precipitación y evapotranspiración

La precipitación anual total correspondiente al año hidrológico 2010 es de solo 337,8 mm, En la ER del año 2010 se registró una fuerte precipitación durante el mes de septiembre, con un máximo diario de 76 mm. La ENR del 2010 posee una distribución más uniforme en cuanto al aporte de agua de lluvia. La P del año 2011 fue de 285,9 mm, existiendo entre los dos una mínima diferencia. En 2011 existen dos picos de P, en octubre y marzo, con una P inferior en el invierno, la situación más general en este tipo de clima, la distribución de P en 2010 es algo más atípica. En cuanto a la evapotranspiración, la ETo mensual fue superior a la P mensual salvo en unos pocos meses del invierno de 2010 lo que pone de relieve las posibilidades del regadío en esta zona (Tabla 7, Fig. 15).

Tabla 7. Valores mensuales de precipitación (P) y evapotranspiración de referencia (ETo) calculada por el método de FAO Penman-Monteith (Fuente: Red SIAR).

Meses	2010		2011	
	P (mm)	ETo (mm)	P (mm)	ETo (mm)
Oct	32,1	78,2	56,0	70,1
Nov	17,0	37,1	24,7	39,9
Dic	46,3	25,3	19,6	23,8
Ene	46,0	30,1	22,9	21,7
Feb	35,6	38,5	8,9	50,6
Mar	30,3	73,7	68,9	72,7
Abr	10,5	103,6	24,2	119,5
May	1,5	155,0	32,8	162,1
Jun	38,0	174,9	15,8	181,0
Jul	4,0	204,2	4,3	200,7
Ago	0,1	176,3	3,6	167,3
Sep	76,4	106,9	4,2	120,1



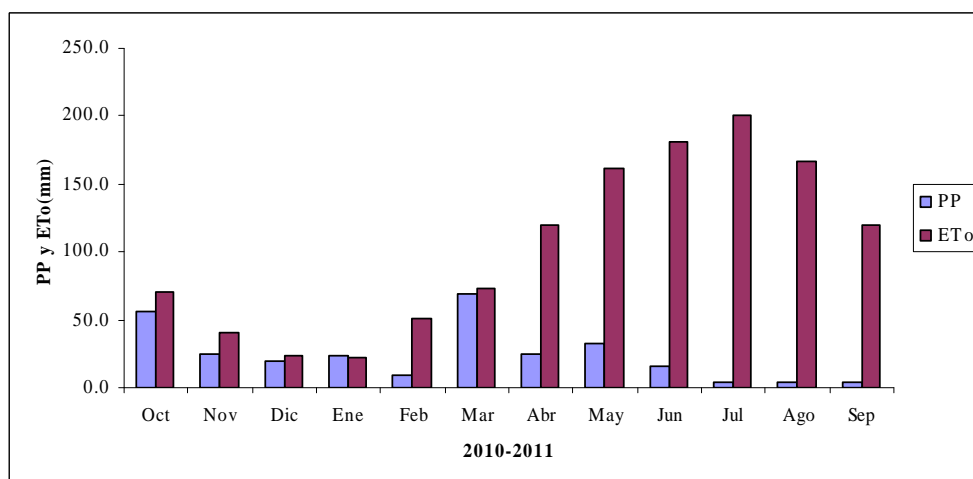


Figura 15. Valores mensuales de precipitación y evapotranspiración de los años hidrológicos 2010 y 2011

5.2.2. Caudal:

Durante los años hidrológicos 2010 y 2011 el caudal en el B^{co} de La Sardeta osciló entre 0,02 y 0,20 m³/s, siendo el caudal medio superior en la estación de riego (ER, abril a septiembre) que en la estación de no riego (ENR), prácticamente el doble, debido a los retornos de riego (Tabla 8; Fig. 16). El caudal medio para el año 2010 fue de 0,11 m³/s y para el año 2011, de 0,10 m³/s, bastante similares como corresponde a dos años con patrones de cultivo, y por tanto de riego, muy similares (Tablas 8 y 9), aunque estos resultados están basados en un número limitado de medidas hasta abril de 2011. El coeficiente de variación (CV) en la ENR del año 2011 es elevado debido a la gran variabilidad de las precipitaciones, y en menor medida de los aportes de riego, durante los periodos de octubre a marzo.

Tabla 8. Caudal medio diario (Q_{md}) en la estación de no riego (ENR: octubre a marzo), estación de riego (ER: abril a septiembre) y para el año hidrológico completo (AH) durante los años hidrológicos 2010 y 2011 de la cuenca del Barranco de la Sardeta P4.

	Q_{md} (m ³ /s)					
	<u>2010</u>			<u>2011</u>		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Máximo	0,08	0,13	0,13	0,08	0,20	0,20
Mínimo	0,05	0,08	0,05	0,02	0,04	0,02
Media	0,06	0,11	0,08	0,05	0,10	0,10
Mediana	0,06	0,11	0,07	0,05	0,10	0,10
CV (%)	15,99	16,98	34,03	41,88	27,28	30,16

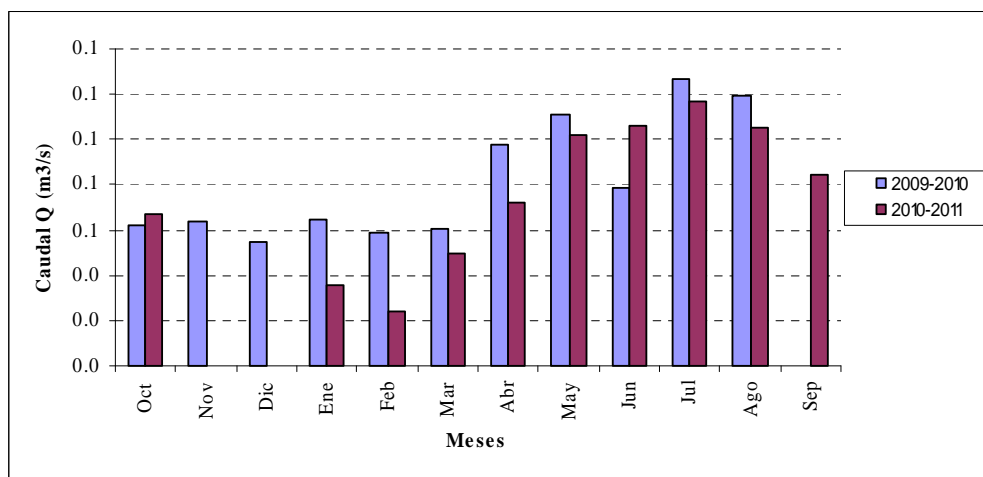


Figura 16. Valores medios mensuales de caudal para los años hidrológicos 2010 y 2011

5.2.3. Concentraciones en el agua de drenaje (P4)

▪ Salinidad (Conductividad eléctrica)

La CE registrada osciló entre 0,94 dS/m y 3,01 dS/m, y resultó superior en el año hidrológico 2010 (CE media = 2,08 dS/m) que en el 2011 (1,53 dS/m). La CE de los dos años hidrológicos es menor durante las ER, debido al efecto de dilución de los sobrantes de riego. Esta situación, que se observa también en el conjunto de la cuenca del Flumen y la del Alcanadre (Isidoro y Dechmi, 2011; CHE, 2011) pone de manifiesto el predominio de los sistemas de riego tradicionales con grandes pérdidas operacionales (colas de acequias) y excedentes de riego de baja concentración (escorrentías superficiales y flujos preferenciales a través de grietas en el riego por inundación).

El CV de los dos años es bajo lo que manifiesta que los datos de CE son bastante uniformes. Estas aguas se encuentran dentro de la clase de riesgo ligero a moderado para uso para riego por su salinidad, según los criterios FAO (CE entre 0,7 dS/m y 3,0 dS/m) (FAO, 1985) (Tabla 9, Fig. 17).

Tabla 9. Valores de Conductividad eléctrica a 25°C (CE) en la estación de no riego (ENR: octubre a marzo), estación de riego (ER: abril a septiembre) y para el año hidrológico completo (AH) durante los años hidrológicos 2010 y 2011 en la cuenca del Barranco de la Sardeta P4.

	CE (dS/m)					
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Máximo	3,01	2,12	3,01	2,88	2,45	2,88
Mínimo	1,94	1,32	1,32	1,95	0,94	0,94
Media	2,37	1,65	2,08	2,29	1,46	1,53
Mediana	2,25	1,65	2,12	2,14	1,42	1,43
CV %	15,08	16,41	23,23	15,1	17,89	23,48

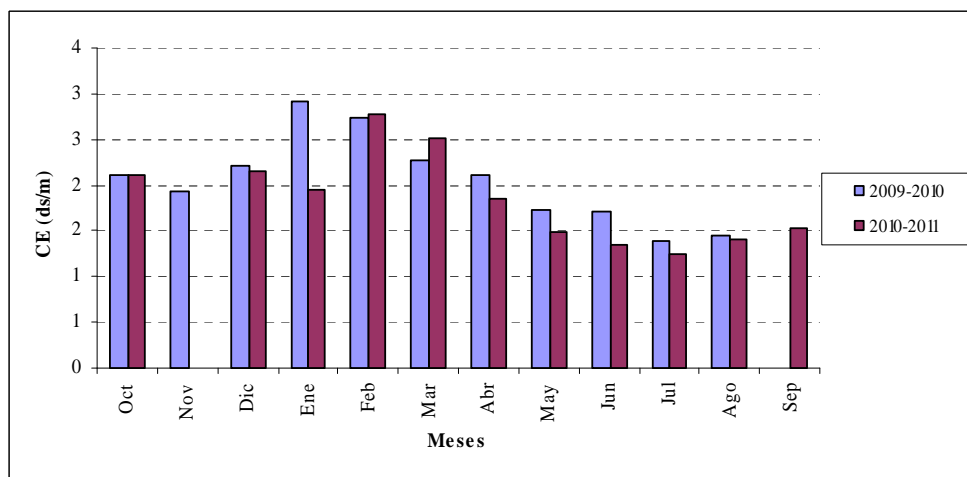


Figura 17. Valores medios mensuales de conductividad eléctrica para los años hidrológicos 2010 y 2011

Se observa que los datos de SDT varían en un rango desde 675,3 a 2552,4 mg/L con una distribución similar a la de la CE, a partir de la cual están calculados (Tabla 10); en particular con una variabilidad reducida (CV bajos).

Tabla 10. Valores de sólidos disueltos totales (SDT) en la estación de no riego (ENR: octubre a marzo), estación de riego (ER: abril a septiembre) y para el año hidrológico completo (AH) durante los años hidrológicos 2010 y 2011 en la cuenca del Barranco de la Sardeta P4.

	SDT (mg/L)					
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Máximo	2552,4	1745,3	2552,4	2436,4	2044,6	2436,4
Mínimo	1582,1	1019,9	1019,9	1591,2	675,3	675,3
Media	1973,9	1321,7	1705,3	1895,2	1144,2	1206,7
Mediana	1863,2	1319,1	1745,3	1758,9	1101,5	1119,6
CV (%)	16,4	18,6	25,6	16,5	20,6	26,9

▪ Nitrato.

La concentración media de nitrato en el año 2010 fue de 16,65 mg/L, algo superior al año 2011 con 13,21 mg/L; asimismo, la concentración de NO_3 fue superior durante la ENR que en la ER en los años 2010 y 2011 (Tabla 11) debido nuevamente a la dilución que tiene lugar durante la ER. No obstante el lavado de NO_3 viene determinado también por las fechas de las aplicaciones de fertilizantes y por las precipitaciones que pueden dar lugar a su lavado, resultando patrones más complicados.

Los nitratos constituyen el elemento principal de la “contaminación difusa” de las aguas (superficiales y subterráneas) como consecuencia de la aplicación de fertilizantes nitrogenados. En la zona de estudio se puede apreciar que las concentraciones de NO_3 en las campañas agrícolas del 2010 y 2011 oscilan entre 5,85 y 38,60 mg/l los cuales se encuentran bajo los límites admisibles de 50 mg/l (límite superior para aguas destinadas al consumo humano, RD 140/2003) pero por encima del valor de 25 mg/L que considera la CHE para aguas afectadas por NO_3 .

Durante los meses de diciembre a febrero de la campaña agrícola 2010 se observaron las mayores concentraciones de NO_3 . Esto se debe que durante este periodo se produjeron lluvias considerables que dieron lugar al lavado de los fertilizantes aportados al suelo. Posiblemente, los niveles de concentración de NO_3 bajos que se observan durante la ER estén relacionados con la baja intensidad

de cultivo (gran superficie ocupada por cultivos de cereales o forrajes, con un abonado inferior al maíz, y en abandono) (Fig. 18).

Tabla 11. Valores de concentración de nitrato (NO_3) en la estación de no riego (ENR: octubre a marzo), la estación de riego (ER: abril a septiembre) y para el año hidrológico completo (AH) durante los años hidrológicos 2010 y 2011 en la cuenca del Barranco de la Sardeta P4.

	NO_3 (mg/l)					
	<u>2010</u>			<u>2011</u>		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Máximo	29,47	15,72	29,47	27,52	38,60	38,60
Mínimo	6,79	8,65	6,79	14,40	5,85	5,85
Media	19,38	12,74	16,65	19,02	12,81	13,21
Mediana	18,68	12,71	15,62	17,83	12,53	12,70
CV %	36,22	19,16	38,59	23,68	29,18	30,71

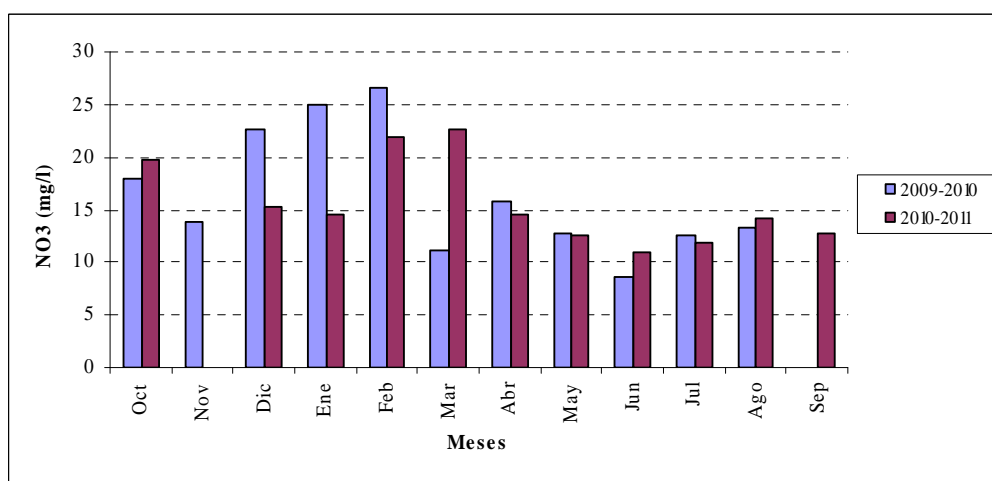


Figura 18. Valores medios mensuales de nitrato (NO_3) para los años hidrológicos 2010 y 2011.

▪ Fósforo

La concentración de PT resultó mayor en la ER del año 2010 (0,12 mg/l) que en la de 2011 (0,09 mg/l), mientras que fue similar en las dos ENR (0,10 mg/l) (Tabla 12). En todos los años y estaciones se superan los umbrales de riesgo de eutrofización (0,02 mg/l) y para la vida de las especies salmonícolas (0,07 mg/l) revelando que existe un problema en cuanto se refiere a la contaminación por P inducida por la práctica del riego y la fertilización (CHE, 2011)

En la figura 19 se observa que las concentraciones de fósforo durante los dos años no sufren variaciones significativas (no existe un patrón de dilución en la ER tan claro como para la CE y el NO_3). Al contrario que para la CE y el NO_3 , las concentraciones de PT pueden ser tan altas durante la ER como durante la ENR, dependiendo de los procesos complejos que determinan el movimiento del P (concentraciones mayores en aguas superficiales con salinidad y concentración de NO_3 relativamente más bajos).

Tabla 12. Valores de fósforo total (PT) en la estación de no riego (ENR: octubre a marzo), la estación de riego (ER: abril a septiembre) y para el año hidrológico completo (AH) durante los años hidrológicos 2010 y 2011 en la cuenca del Barranco de la Sardeta P4.

	PT (mg/L)					
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Máximo	0,13	0,14	0,14	0,14	0,30	0,30
Mínimo	0,07	0,08	0,07	0,05	0,02	0,02
Media	0,10	0,12	0,11	0,10	0,08	0,09
Mediana	0,10	0,12	0,12	0,10	0,07	0,08
CV %	23,3	16,87	22,09	29,96	52,56	52,72

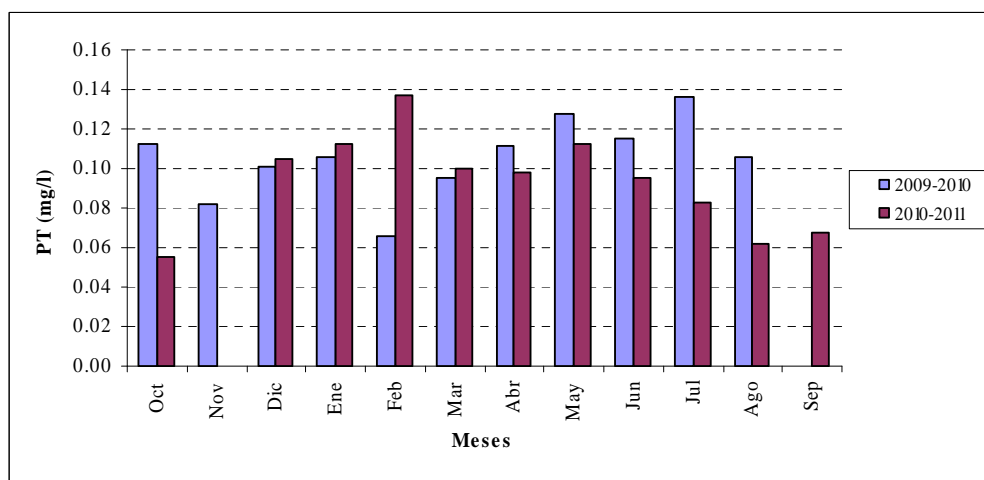
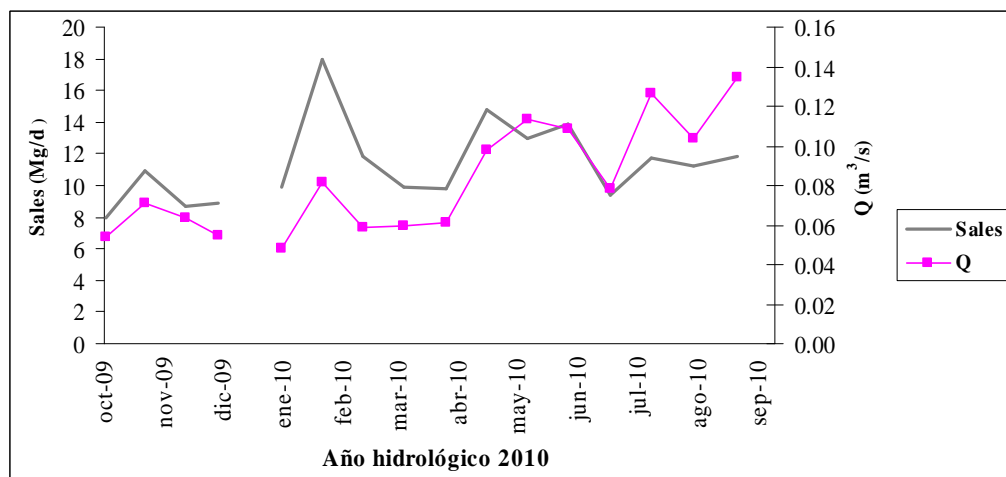


Figura 19 Valores medios mensuales de fósforo total (PT) para los años hidrológicos 2010 y 2011

5.2.4. Masas de sales, N y P exportadas por P4

▪ Masa exportada de sales

La masa de sales sigue una evolución sensiblemente paralela a la del caudal, el término más variable y de mayor peso de los dos que dan lugar a la masa exportada (caudal y concentración). De esta manera, las masas exportadas son más altas, en general, durante la ER, con Q más alto a pesar de la menor salinidad durante la ER (Fig. 20). Solo en algunos meses de la ENR con caudales muy altos, las masas exportadas llegan a ser similares a las de la ER.



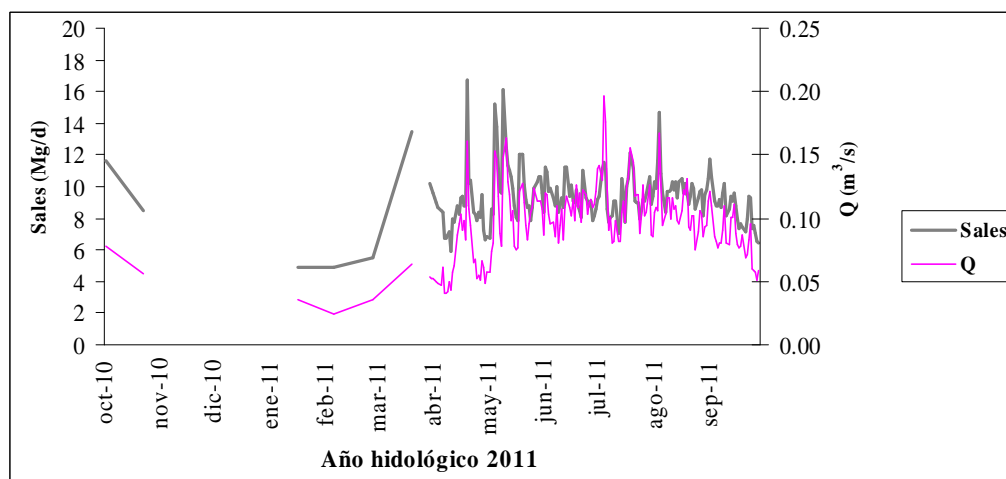


Figura 20. Valores diarios de masa exportada de sales y caudal medio de los años hidrológicos 2010 y 2011

En la tabla 13 se observa que las masas exportadas van desde 4,9 Mg/día a 18 Mg/día, la exportación máxima se presenta durante la ER de 2010, con una media de 12,2 kg/día, pero bastante similar a la ENR de 2010 y solo algo superior a la de la ER y ENR de 2011.

La masa total exportada en 2010 (3753 Mg) representa una exportación por unidad de superficie regada (considerada como la superficie de riego menos la de abandono -1558 ha-, es decir, asumiendo que las sales se originan únicamente en los suelos efectivamente regados) de 2.4 Mg/ha (1.2 Mg/ha en la ER y 1.2 Mg/ha en la ENR), claramente inferior a los retornos globales estimados para la cuenca del Alcanadre (una vez descontados los flujos procedentes del secano aguas arriba, en torno a 4 Mg/ha en 2009-2010; CHE, 2011), lo que apunta a una salinidad relativamente menor en la cuenca del B^{co} de la Sardeta. Las exportaciones de 2011 fueron muy inferiores (2532 Mg o 1.6 Mg/ha) siendo del mismo orden en la ER (1.1 Mg/ha) y muy inferiores en la ENR (0.6 Mg/ha).

En 2010, la mitad de las salidas de sales se produjeron en la ER, igual que ocurrió en la cuenca del Alcanadre (52%); pero este porcentaje alcanza el 65% en 2011 (Tabla 13), más en consonancia con los resultados obtenidos en la cuenca del Alcanadre para 2009 (59%). La elevada masa calculada en la ENR de 2010 (como también ocurre en la cuenca del Alcanadre en conjunto) es la responsable de la mayor masa exportada en 2010.

Tabla 13. Masas diarias y totales exportadas de sales en la estación de no riego (ENR: octubre a marzo), estación de riego (ER: abril a septiembre) durante los años hidrológicos 2010 y 2011 de la cuenca del Barranco de la Sardeta P4

SALES (Mg/día)						
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Máximo	18,0	14,8	18,0	13,5	16,7	16,7
Mínimo	8,0	9,3	8,0	4,9	6,0	4,9
Media	10,7	12,2	11,3	8,1	9,3	9,3
Mediana	9,9	11,9	11,1	7,0	9,2	9,2
CV (%)	28,0	14,7	22,8	45,7	17,5	18,3
Masas exportadas de sales						
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Sales (Mg)	1885,7	1867,6	3753,2	880,6	1651,6	2532,2
Sales (%)	50,2	49,8		34,8	65,2	

- Masas exportadas de nitrógeno

El paralelismo entre las series de caudal y masa exportada de N es bastante claro también, pero se presentan algunas discrepancias mayores, lógicas pues la relación entre NO_3 y Q no es tan buena como entre CE y Q (Fig. 21). En concreto, la masa exportada máxima diaria de N se registra en enero de 2010 (basada en una única observación en el mes) aunque en 2011, con un mayor número de observaciones en la ER se encuentran ya valores diarios igual de altos.

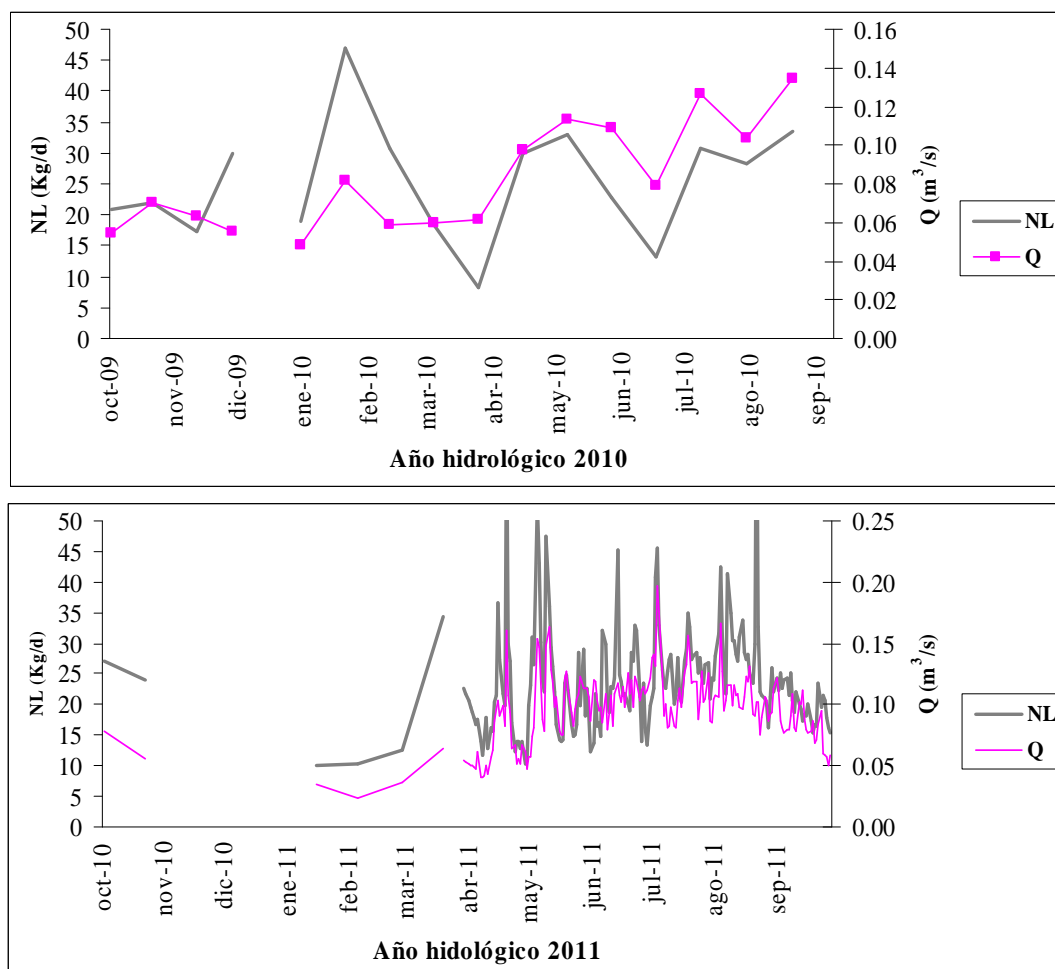


Figura 21. Valores diarios de masa exportada de nitrógeno (NL) y caudal medio diario (Q) en los años hidrológicos 2010 y 2011

La tabla 14 muestra que los valores diarios de NL oscilan entre 10,1 Kg/día y 77,3 Kg/día, siendo bastante similares en la media para los dos años (25 kg/día en 2010 y 24 kg/día en 2011) y algo superiores durante las ER que en las ENR, debido a los mayores caudales de la ER (Tabla U), sobre todo en 2011.

En 2010, la masa exportada por unidad de superficie efectivamente regada alcanzó 5.4 kg/ha (49% en la ER) y en 2011, 4.2 kg/ha (67% en la ER). Estos resultados repiten los encontrados para la masa de sales y se corresponden con los resultados de la cuenca del Alcanadre en 2010 (44% de N exportado en la ER) y 2011 (56%), respectivamente (CHE, 2011). Nuevamente, la ENR presenta unas masas más elevadas, en las dos cuencas, y resulta en que en ese año, la masa exportada en la ER alcanza aproximadamente la mitad del total, mientras en 2009 (Alcanadre) y 2011 (La Sardeta) ese porcentaje es superior.

Tabla 14. Masas diarias y totales exportadas de nitrógeno (NL) en la estación de no riego (ENR: octubre a marzo), estación de riego (ER: abril a septiembre) durante los años hidrológicos 2010 y 2011 de la cuenca del Barranco de la Sardeta P4.

	NL (Kg/día)					
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Máximo	46,9	33,5	46,9	34,4	77,3	77,3
Mínimo	8,12	13,3	8,12	10,1	10,4	10,1
Media	23,7	27,4	25,3	19,7	24,0	23,8
Mediana	21,0	30,0	25,6	18,3	22,5	22,3
CV (%)	46,5	26,1	37,2	51,8	37,5	37,6

	Masas exportadas de NL					
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
NL (Kg)	4302,5	4126,0	8428,5	2123,1	4375,1	6497,6
NL (%)	51,0	49,0		33,0	67,0	

▪ Masa exportada fósforo

La masa exportada de P sigue también un claro paralelismo con el caudal (Fig. 22), sobre todo durante 2010 en que el número de observaciones es mucho menor. En el caso del P, las masas exportadas resultaron claramente por encima durante en la ER que en la ENR (Tabla 15).

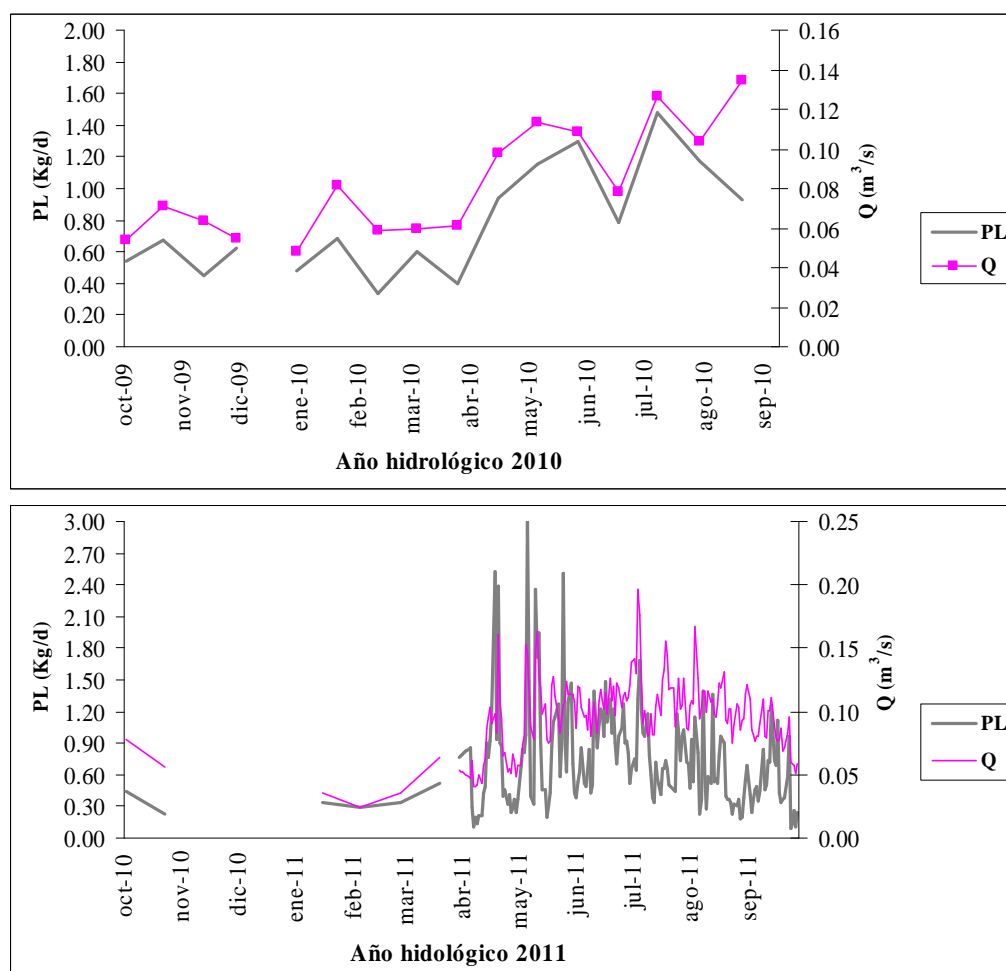


Figura 22. Valores diarios de masa exportada de fósforo (PL) y caudal medio de los años hidrológicos 2010 y 2011

La tabla 15 presenta los estadísticos de las masas diarias exportadas de P. La masa diaria de P osciló entre 0,1 kg P/día y 3 kg P/día, siendo más variable (CV más elevado) durante la ER del año 2011. Las masas diarias fueron también más altas durante la ER que la ENR, en los dos años, y de un modelo más claro en 2010 de lo que ocurría con el N y las sales. La masa exportada de P fue superior en 2010 (262 kg P o 168 g P/ha) que en 2011 (178 kg P o 114 g P/ha), como también ocurría con las sales y el N. También la masa esportada fue superior en la ER que en la ENR, pero en el caso del P, la diferencia es prácticamente tan marcada en 2010 (65% de masas de P exportada en la ER) que en 2011 (76%), cosa que no ocurría con el N y las sales.

Tabla 15. Masas diarias y totales exportadas de fósforo (PL) en la estación de no riego (ENR: octubre a marzo), estación de riego (ER: abril a septiembre) durante los años hidrológicos 2010 y 2011 de la cuenca del Barranco de la Sardeta P4.

PL (Kg/día)						
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
Máximo	0,7	1,5	1,5	0,5	3,0	3,0
Mínimo	0,3	0,8	0,3	0,2	0,1	0,1
Media	0,5	1,1	0,8	0,4	0,7	0,7
Mediana	0,5	1,2	0,7	0,3	0,7	0,7
CV (%)	23,2	21,8	44,1	29,9	64,7	64,2

Masas exportadas de PL						
	2010			2011		
	ENR	ER	AH	ENR	ER	AH
PL (Kg)	91,4	170,1	261,5	42,0	136,2	178,2
PL (%)	35,0	65,0		24,0	76,0	

5.2.5. Masas de nutrientes aportadas por fertilización

Como consecuencia del bajo número de encuestas en la zona de estudio no se pueden conocer con suficiente precisión las prácticas de abonado. Durante los años hidrológicos 2010 y 2011 se recogieron encuestas a los agricultores de las comunidades de regantes de Collarada 1 y 2, los cultivos más representativos en la zona de estudio fueron los cereales, maíz y alfalfa en la que cada uno se ha venido aplicando de diferentes dosis de nitrógeno como de fósforo.

En la tabla 16 se presentan las fechas de aplicación medias, cantidad de N y cantidad de P aplicados en (kg/ha) para cada una de las aportaciones de abono registradas (una o dos aportaciones de abonos orgánicos, un abono mineral de fondo o presiembra y una o dos coberturas) para los principales cultivos de la zona (maíz, cebada, alfalfa y arroz) en 2010 y 2011. La cantidad total de N y P de origen mineral y orgánico para cada uno de los cultivos principales en cada año de estudio se presenta en la tabla 17 junto con los requerimientos obtenido de las encuestas y el número de entrevistas realizadas.

Tabla 16. Fecha media de aplicación y cantidad media de nitrógeno aplicado (NA) y fosforo aplicado (PA) en cada abonado para los diferentes cultivos presentes en la zona de regadío del barranco de la Sardeta en los años hidrológicos 2010 y 2011.

Cultivo encuestado	ABONADO ORGÁNICO						PRE-SIEMBRA			1ª COBERTERA		2ª COBERTERA	
	FECHA	NA (kg/ha)	PA (kg/ha)	FECHA	NA (kg/ha)	PA (kg/ha)	FECHA	NA (kg/ha)	PA (kg/ha)	FECHA	NA (kg/ha)	FECHA	NA (kg/ha)
2009-2010													
Maíz	17-abr-10	207	97	-	510	118	02-may-10	55	54	15-jul-10	98	15-ago-10	48
Cebada	20-oct-09	190	88	25-nov-09	83	29	17-oct-09	40	40	21-mar-10	98	-	-
Alfalfa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15-mar-10	32	-	-
Arroz	-	-	-	-	-	-	11-may-10	160	26	15-ago-10	63	-	-
2010-2011													
Maíz	02-abr-11	141	53	-	-	-	15-abr-11	64	52	13-jun-11	101	01-jul-11	101
Cebada	20-oct-10	125	58	-	-	-	27-oct-10	32	20	07-mar-11	114	15-ene-11	112
Alfalfa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arroz	-	-	-	-	-	-	01-jun-11	120	35	-	30	-	-

▪ Fertilización maíz

El maíz recibió en los años de estudio una o dos aportaciones de abono orgánico, un abonado de fondo y una (casi siempre) o dos coberteras. Entre los abonos orgánicos dominaron el purín de cerdo y la gallinaza. Los abonos más empleados en presiembra fueron los complejos 18-24-15, 8-15-15 y compost y en las coberteras, la solución nitrogenada N32 (lo más usual) y la urea. La aplicación de abonos orgánicos sobrepasaba al mineral lo que podría indicar que posee una explotación ganadera.

La dosis promedio durante los dos años de nitrógeno aplicada es de 375 kg/ha, siendo mayor en el año 2010 (385 kg/ha), en el que el 26% corresponde a abonos minerales y el 74% a abonos orgánicos, mientras que en el año 2011 es a la inversa el 61% corresponde a abonos minerales y el 39% a orgánicos. Lo que puede indicar que en 2010 los agricultores encuestados dispusieron de parte de su producción de residuos ganaderos sobre sus parcelas de cultivo (en mayor medida que al año siguiente).

En cuanto al fósforo la dosis aplicada durante el año 2010 con el 28% de abono mineral y 72% de abono orgánico son superiores con relación al año 2011, en los dos años predomina el fósforo orgánico.

Las dosis de nitrógeno y fósforo sobrepasan los requerimientos de 324 kg/N y 240 Kg/P₂O₅ para una producción de 12000 kg/ha (Gobierno de Aragón Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España, 2012), que por otro lado, no se alcanza en la media en la zona de estudio (Tabla 17).

▪ Fertilización de la cebada

La aplicación de fertilización se realizó en presiembra y una única cobertura. La dosis media de nitrógeno mineral para los dos años es similar con un promedio de 131 kg/ha, pero la aportación de N orgánico fue superior en 2010 (77 kg/ha frente a 42 kg/ha en 2011), como si en el año 2010 se hubiera producido un uso superior del suelo cultivado como receptor de los desechos ganaderos. En el abonado de fondo se emplea sobre todo complejos (8-15-15 y 18-46-0) y en la cobertera casi exclusivamente la urea. Solo un tercio de los encuestados aplicaron abonos orgánicos, purín de cerdo o gallinaza.

El fósforo mineral y orgánico aplicado en el año 2010 (33 kg/ha y 36 kg/ha, respectivamente) fue superior al aplicado en 2011 (12 kg/ha y 23 kg/ha), en ambos años el P de origen orgánico superó al mineral. Al igual que el caso del maíz, la cebada recibe unas dosis de fertilizantes superiores a sus requerimientos (120-150 Kg N/ha y 60-90 Kg P/ha para una producción de más de 4000 kg/ha).

▪ Fertilización de la alfalfa

La alfalfa apenas recibió fertilización en la zona en los años de estudio, únicamente una aportación de 8-15-15 en 2010 (por parte solo de uno de los 3 encuestados). Este hecho puede deberse a que se trata de un cultivo de varios años de implantación que no necesita aportes de N (aunque sea frecuente que los reciba) pues lo usual es que se le aplique N únicamente en el momento de la siembra para favorecer la nodulación (Gobierno de Aragón Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España, 2012). La fertilización fosforada sí es más frecuente en alfalfa, pero en la zona de estudio no se produjo en ningún caso (Tablas 16 y 17), lo que puede resultar irrelevante para la producción dado el alto nivel de P en el suelo.

▪ Fertilización del arroz

El cultivo del arroz recibe únicamente fertilización mineral tanto nitrogenada como fosfatada (16-6-9, 12-8-8 y amoníaco 10%) distribuidas en la pre-siembra y la única cobertura. La aplicación de N resultó mayor en 2010 con 192 kg N/ha frente a 150 kg N/ha en 2011, mientras que con el P ocurre al revés (35 kg P/ha en 2011 frente a 26 kg P/ha en 2010); en cualquier caso se trata de resultados similares.

Tabla 17. Datos de encuestas de fertilización a agricultores correspondiente a la cuenca del barraco de la Sardeta años hidrológicos 2010 y 2011: rendimiento (Rto), sistema de riego (I inundación; A, aspersión) y cantidad media de N y P mineral y orgánico aplicado.

Cultivo encuesta-do	Año hidrológico	Número encuestas	Rto (Kg/ha)	Sistema Riego	Nitrógeno			Fósforo		
					(Kg/ha)			(Kg/ha)		
					N Min.	N Org.	N Min+Org	P Min.	P Org.	P Min+Org
Maíz	2010	4	11,125.0	I-A	102	283	385	40	102	143
	2011	3	11,833.3	I-A	224	141	365	17	53	70
Cebada	2010	6	5,516.7	I-A	131	77	208	33	36	69
	2011	6	5,100.0	I-A	130	42	172	12	23	35
Alfalfa	2010	3	11,333.3	I-A	11	0	11	0	0	0
	2011	1	12,000.0	A	0	0	0	0	0	0
Arroz	2010	2	6,500.0	I	192	0	192	26	0	26
	2011	1	6,000.0	I	150	0	150	35	0	35

Comparativamente, el maíz es el cultivo que recibe una mayor fertilización nitrogenada (375 kg/ha de media en 2010 y 2011), seguido de los cereales de invierno (190 kg/ha) y del arroz (171 kg/ha), mientras la alfalfa apenas recibe aportes de N, dado su carácter de cultivo fijador de N atmosférico. Para el P se presenta la misma pauta (106 kg P/ha para el maíz, 52 kg P/ha para los cereales, 31 kg P/ha para el arroz y 0 kg P/ha para la alfalfa). La ausencia de una aportación de P a la alfalfa no es frecuente en la zona y puede ser consecuencia del bajo número de encuestas realizado.

5.3. Balances diarios de agua en el suelo: cálculo de la ETr

El objetivo de establecer las superficies de cultivo por sistema de riego y tipo de suelo (Tabla 6) es poder realizar balances de agua diarios en el suelo que permitan conocer la ETr de un cierto cultivo bajo un tipo de riego y sobre un determinado tipo de suelo. Esas estimas de ETr (en mm) se agregan después para todas las unidades suelo-sistema de riego-cultivo para obtener una estima del volumen total de ETr.

En este apartados se presentan los balances para el cultivo de maíz bajo los 2 sistemas de riego y sobre las 3 unidades de suelo en el año 2010 a modo de ejemplo. La distribución de riegos en los dos sistemas se sigue de los datos también derivados de las encuestas y de las prácticas medias de la cuenca del Alcanadre (CHE, 2011).

Los resultados comparados permiten contrastar el manejo del agua en distintos suelos y con distintos sistemas de riego. Las figuras 23, 24, 25, 26 y 27 presentan los resultados del balance de agua diario en el suelo de los 5 casos calculados. Para cada caso, las figuras presentan las entradas diarias de R y P y las salidas por ETr y drenaje por debajo de la zona de raíces (D), así como la ETc. La diferencia entre ETc y ETr permite apreciar la existencia de estrés hídrico (durante la fase de cultivo).

Se observa (Figuras 23,24 y 25) que en riego por inundación, no se produjo drenaje durante al ENR (desde octubre hasta principios de mayo) y que la ETr estuvo por debajo de la ETc (la evaporación desde el suelo, único término considerado en la ENR no llegaba a cubrir la demanda evaporativa ETc), presentando picos después de las lluvias. Después de la siembra del cultivo (20 de abril) la Tr (ETr(f1) en las figuras) se mantiene muy por debajo de ETc, pero bastante menos del término de transpiración de esa ETc (ETc(f1) en las figuras) indicando que el estrés del cultivo en la fase inicial es muy reducido. Durante la ER, a partir de la primera fase de cultivo, la ETr alcanza prácticamente la ETc apuntando a un estrés hídrico nulo o muy reducido. Después de cada evento de riego, se produce un claro evento de drenaje y además, la intensa precipitación del 2 septiembre dio lugar a un pico aun más acusado de D. En conclusión el suministro de riego no causó alteraciones en cuanto a la ETr con lo que indica que los valores planteados son óptimos para el balance de agua y solamente se produjo drenaje, en riego por superficie durante la ER.

Además, apenas se aprecian diferencias entre las 3 unidades de suelos en riego por inundación, debido a que tienen una capacidad de retención de agua (AU) muy similar (Tabla 5). Las diferencias, mínimas, se producen al final de la primera fase de cultivo e inicio de la segunda, antes y durante le primer riego.

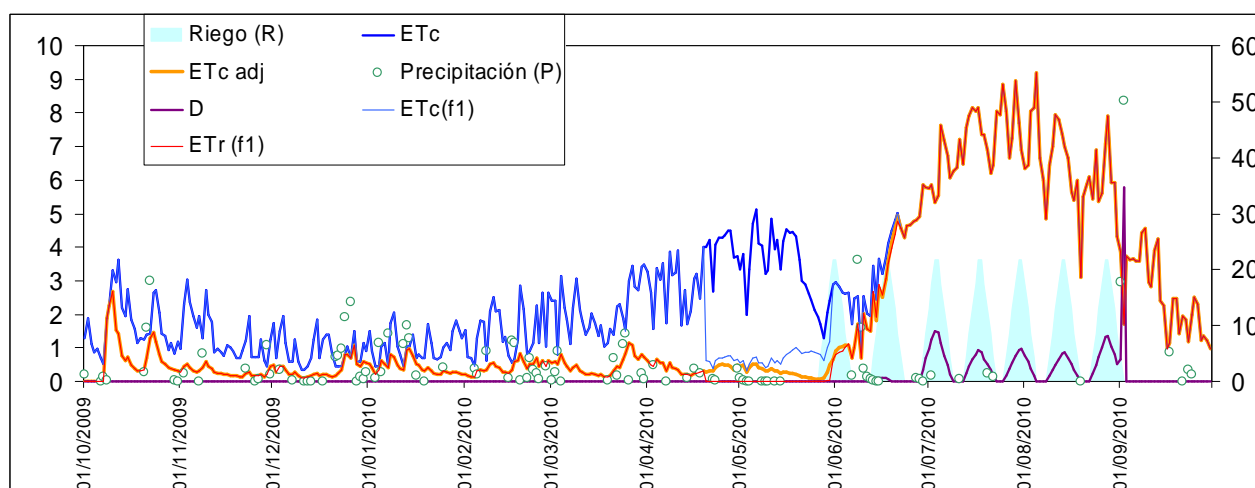


Figura 23. Cálculo de la ETr del cultivo de maíz en riego por inundación en la Unidad de suelo 1 de la zona del barranco de la Sardeta para el año hidrológico 2010.

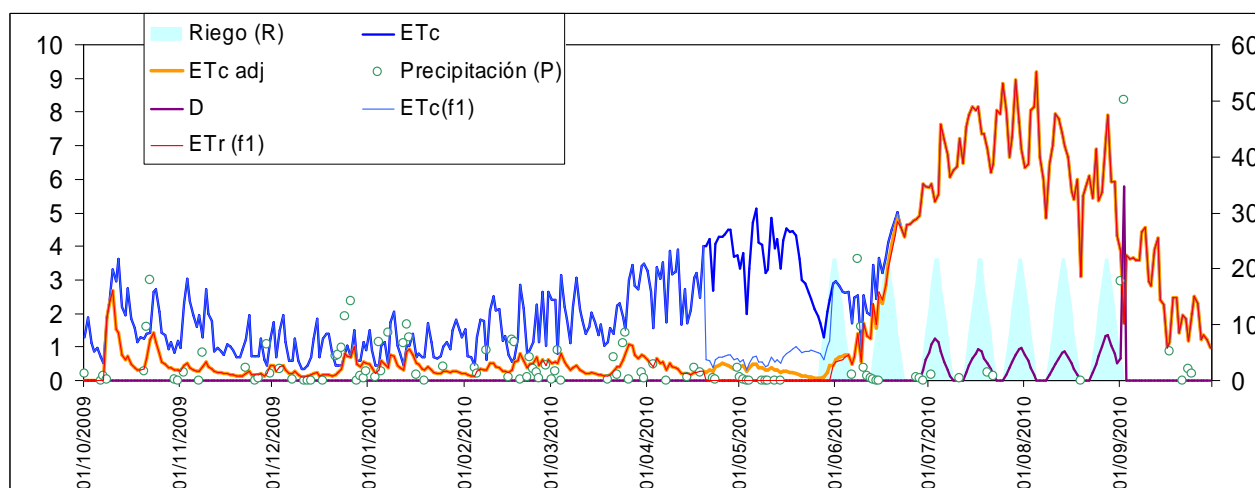


Figura 24. Cálculo de la ETr del cultivo de maíz en riego por inundación en la Unidad de suelo 2 de la zona del barranco de la Sardeta para el año hidrológico 2010.

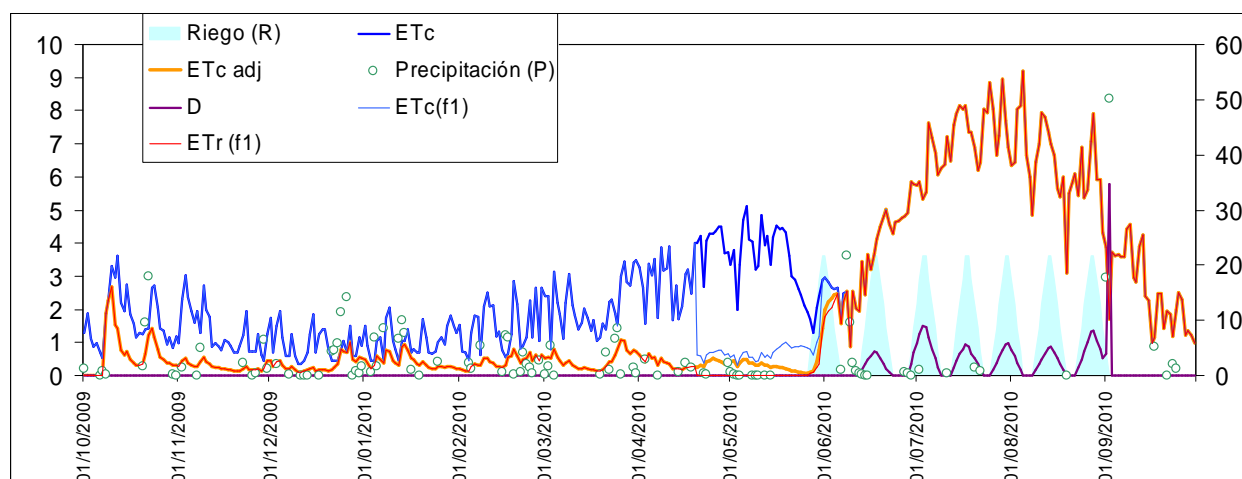


Figura 25. Cálculo de la ETr del cultivo de maíz en riego por inundación en la Unidad de suelo 3 de la zona del barranco de la Sardeta para el año hidrológico 2010.

En riego por aspersión (Figuras 26 y 27) se observa que las dos unidades de suelo poseen el mismo comportamiento: que la ETr prácticamente igual a la ETc durante las fases finales de cultivo y la Tr se mantiene muy próxima a la Tc en la fase inicial (apenas hay lugar para el estrés hídrico). No existen diferencias en las propiedades de los suelos que alteren el comportamiento de la ETr. Las pérdidas por drenaje son prácticamente nulas, lo que indica que es un sistema de riego muy eficaz.

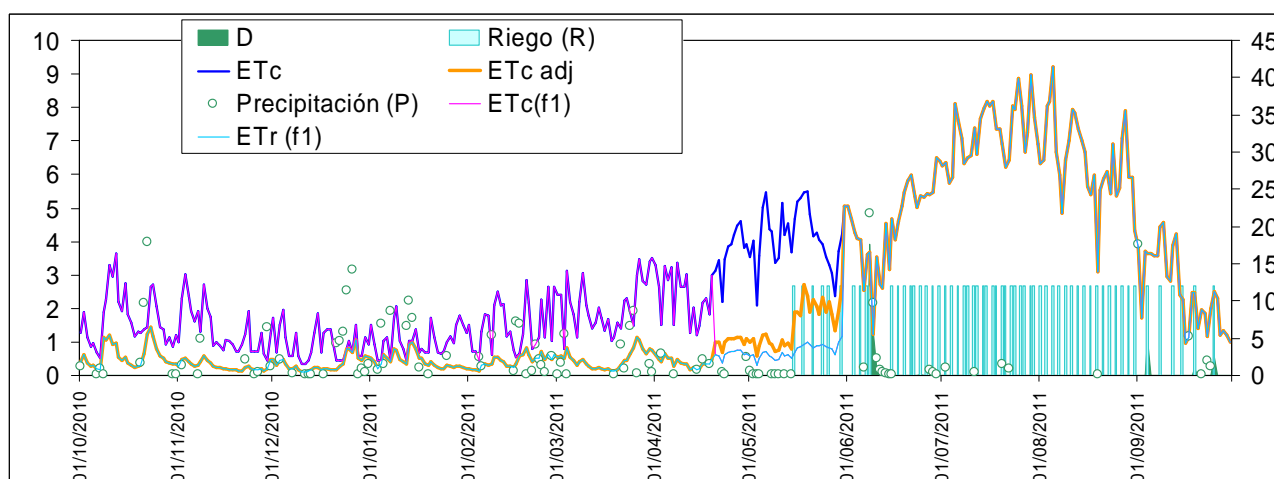


Figura 26. Cálculo de la ETr del cultivo de maíz a través de riego por aspersión dentro de la unidad de suelo 1 la zona del barranco de la Sardeta para el año hidrológico 2010.

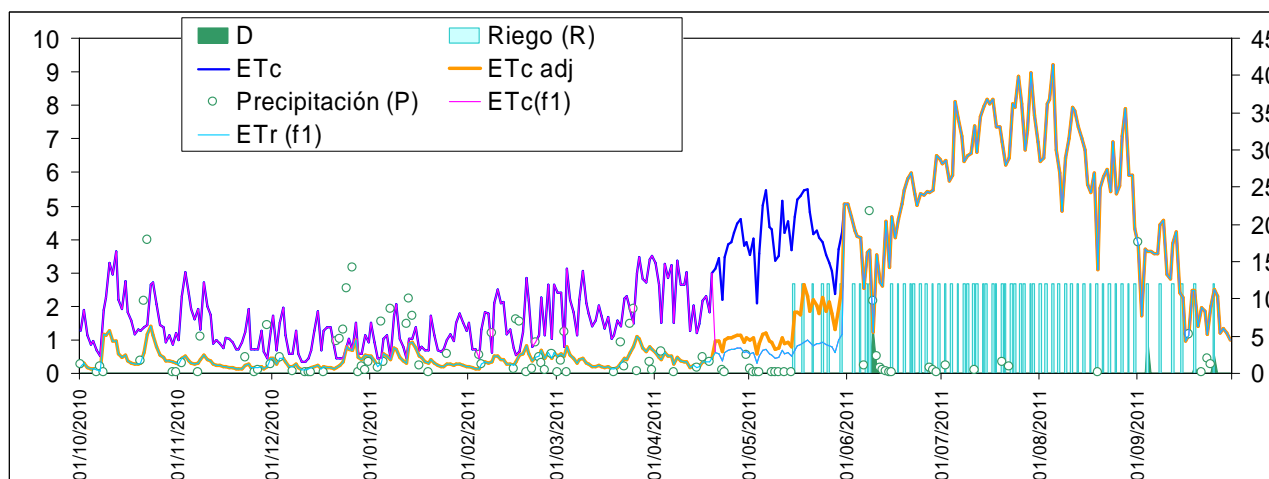


Figura 27. Calculo de la ETr del cultivo de maíz a través de riego por aspersión dentro de la unidad de suelo 2 la zona del barranco de la Sardeta para el año hidrológico 2010.

La Tabla 18 presenta los datos del balance de agua en el suelo agregados para la ER (se elige ese periodo, abril-septiembre a fin de calcular eficiencias e índices de manejo del riego aplicables a ese periodo para todos los cultivos). Se observa que no existen diferencias entre las unidades de suelo dentro de cada sistema de riego (son muy pequeñas); sin embargo existe un mayor suministro de agua en riego por inundación (1041 mm) que en riego por aspersión (851 mm) (el volumen de riego necesario para el riego por superficie es muy superior al empleado en aspersión: 910 mm frente 720 mm), que da lugar a un drenaje mucho mayor (del orden de 240 mm en riego por inundación frente a 25 mm en riego por aspersión). Sin embargo, con la salida por ETr se verifica lo contrario: es muy superior en aspersión (del orden de 700 mm) que en riego por superficie (sobre 610 mm). El menor riego y mayor ETr en riego por aspersión que en inundación indican un aprovechamiento del agua de riego muy superior en aspersión.

Las diferencias entre las unidades de suelos se presentan en la Pef (el aprovechamiento del agua de lluvia) y en los términos de salidas (en ETr y en D). En riego por inundación la unidad que pierde más agua es la Unidad 3 y en riego por aspersión, la Unidad 1; la de mayor y menor volumen total de AU, respectivamente. La Pef calculada es la misma para todos los suelos en riego por inundación y solo ligeramente superior en la Unidad 2 en riego por aspersión. La ETr fue casi idéntica en las unidades 1 y 2 en riego por inundación, y algo superior en la Unidad 3 y prácticamente la misma en las dos unidades de suelo en riego por aspersión.

En todas las unidades se observa que las entradas son mayores a las salidas: la diferencia se corresponde con un incremento en la reserva de agua en el suelo, muy sustancial que apunta a un aprovechamiento erróneo del riego (podría dejar de regarse antes y permitir que el cultivo utilizara ese agua del suelo). Pero también es cierto que esa humedad elevada a final del ciclo favorece el lavado de sales por las lluvias de invierno (algo que no llega a producirse en la ENR de 2010, y que es necesario para evitar la acumulación de sales).

Es destacable el valor de las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) en riego por aspersión (estimadas a partir de la velocidad de viento y la humedad relativa mediante una fórmula empírica) que llega a alcanzar 100 mm (Tabla 18).

Tabla 18. Términos de entradas precipitación efectiva (Pef), riego (R), precipitación (P) y salidas Evapotranspiración del cultivo (ETc), Evapotranspiración real (ETr), perdidas por evaporación y arrastre (PEA) y drenaje (D) en las diferentes unidades de suelo con us resctivos sistemas de riego durante el año hidrológico 2010 en el barranco de la Sardeta

	ENTRADAS (mm)					
	INUNDACIÓN			ASPERSIÓN		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3
R	910,0	910,0	910,0	720,0	720,0	-
P	130,5	130,5	130,5	130,5	130,5	-
Pef	94,2	94,2	94,2	111,6	122,9	-
Total (R+P)	1040,5	1040,5	1040,5	850,5	850,5	-
	SALIDAS (mm)					
	INUNDACIÓN			ASPERSIÓN		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3
ETc	804,9	804,9	804,9	850,7	850,7	-
ETr	604,4	598,8	620,9	704,7	703,4	-
PEA	-	-	-	99,5	99,5	-
D	239,5	225,9	262,0	34,0	17,0	-
Total (ETr+PEA+D)	843,9	824,7	882,9	838,2	819,9	-

El aprovechamiento del agua es bueno en riego por aspersión con una eficiencia algo superior en la Unidad 1 (82,4%) que en la Unidad 2 (80,6%) y con un bajo porcentaje de déficit hídrico (5,3%) lo que muestra la capacidad de este sistema de riego de proveer al cultivo de agua en los intervalos adecuados y con dosis de riego que permiten no superar CC (evitando así la percolación) y no entrar nunca en contenidos de agua bajos en los que se produce estrés hídrico, aumentando por tanto el consumo global de agua (Tabla 19).

En riego por inundación, se consiguió reducir el estrés a niveles del 10-14%, muy bajos, pero la eficiencia de riego se mantuvo del orden del 56%, muy por debajo de la aspersión. El DH en riego por inundación fue menor en la unidad de suelo con mayor volumen de AU (Unidad 3).

Tabla 19. Índices de calidad de riego eficiencia de riego (EfR) y déficit hídrico (DH), durante la estación de riego para cada unidad de suelo y respectivo sistema de riego durante el año hidrológico 2010 en la zona del barranco de la Sardeta

	INUNDACIÓN			ASPERSIÓN		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3
EfR	56,1%	55,4%	57,9%	82,4%	80,6%	-
DH	14,1%	14,9%	11,7%	5,3%	5,3%	-

En resumen, el sistema de riego por aspersión es el más eficaz, a pesar que existe una pérdida importante por la evaporación producida por el viento. El riego por aspersión permite aplicar un volumen de riego (R) menor y obtener un uso por parte del cultivo (ETr) muy superior y por ello un mayor rendimiento, reduciendo ampliamente las pérdidas por percolación (D). La eficiencia del riego resulta muy superior en riego por aspersión y el déficit hídrico es más pequeño, con lo que estamos más cerca del rendimiento potencial del cultivo.

6. CONCLUSIONES

- A partir de los datos obtenidos en base de datos de la SIGPAC y visitas a campo durante el año hidrológico 2010 con el uso de la herramienta del Arcgis se logró delimitar e identificar en la zona de estudio unidades cartográficas homogéneas en cuanto al tipo de suelo, sistema de riego implementado y cultivo. Estas unidades servirán de base para el cálculo de la ETr en la zona.
- Para el año 2011 se realizó cartografía de los diferentes cultivos en la zona de estudio únicamente con los datos de la SIGPAC, existiendo una baja variación entre los dos años. No se pudo realizar la cartografía de los sistemas de riego en 2011.
- En la zona de estudio se reconocieron tres unidades de suelo (Cambisol cálcico fase petrocálcica, Cambisol Cálcico-Regosol calcáreo y Xerosol Cálcico-Regosol calcáreo); se aforó la superficie de los dos sistemas de riego en 2010 (inundación, con el 63% de la superficie y aspersión, con el 37%); y se delimitaron las superficies de los cultivos más importantes, entre los que sobresalen en los años de estudio los cereales, el maíz y los forrajes, entre los que destaca la alfalfa.
- Las propiedades hidrológicas en las tres unidades de suelo en cuanto se refiere a capacidad de campo y punto de marchitez se encuentran en rangos similares. El agua evaporable total y el agua fácilmente evaporable calculadas a partir de los datos medidos para cada unidad de suelo son la base para el cálculo de la ETr.
- La distribución de cultivos bajo cada sistema de riego resultó diferente. En riego por inundación el porcentaje de superficie dedicada a cereales y en abandono es superior que en riego por aspersión; mientras que en riego por aspersión aumenta la proporción de superficie dedicada a maíz y dobles cultivos (ausentes casi en el riego por superficie); lo que indica una intensificación de la producción en riego por aspersión.
- Se han establecido las masas exportadas de sales, nitrógeno y fósforo a lo largo de los años hidrológicos 2010 y 2011 lo que permitirá conocer la contribución de la zona a la contaminación del río Flumen y la dinámica del lavado de sales en la cuenca, lo que puede servir para remediar la posible salinización de los suelos regados en las diferentes épocas [estación de riego (abril-septiembre) o estación de no riego (octubre-marzo)]. La transformación del sistema a riego por aspersión va a reducir los retornos de riego, pero también va a limitar el lavado de sales.
- El análisis de los datos de las encuestas ha permitido establecer las prácticas de fertilización realizadas a lo largo de los años hidrológicos 2010 y 2011. Se observa claramente que la fertilización orgánica sobrepasa a la mineral, sin embargo estos datos son poco representativos ante la escasez de encuestas en la CR Collarada 1 y 2, lo que podría representar un problema para identificar las verdaderas condiciones de fertilización de la zona y realizar un balance de nutrientes más cercano a la realidad.
- El maíz es aquel cultivo que más fertilizante recibió, tanto mineral como orgánico, a lo largo de las dos campañas agrológicas, obteniendo altos rendimientos. Las dosis de fertilizantes fueron superiores a las recomendadas. Para los cereales de invierno la fertilización también superó a las recomendaciones de abonado.
- El balance de agua en el suelo no presentó diferencias importantes entre las unidades de suelo, pero sí entre los sistemas de riego. El riego por aspersión resulta mucho más eficiente que el riego por superficie y da lugar a un drenaje mucho menor, lo que sugiere la necesidad de controlar el lavado de sales (el ciclo estacional de las sales en el sistema) en los sistemas

modernizados, para garantizar un buen drenaje. Además, el riego por aspersión dio lugar a una ETr superior al riego por superficie (unos 100 mm superior) y a la aparición de importantes pérdidas por evaporación y arrastre (en torno a 100 mm) (y por tanto a un consumo real de agua mucho mayor, unos 200 mm superior a la situación de riego tradicional).

CONCLUSIONES DE PRÁCTICAS:

- A través de las asignaturas de cartografía y nuevas tecnologías, cartografía y resolución de problemas ambientales y técnicas de campo demuestran que con el uso de un conjunto de técnicas permiten representar la superficie terrestre con sus componentes tales como lo son los recursos hídricos, climáticos, edafológicos, etc. Una vez procesados, interpretados se puede manejar la información nos permite obtener cartografías que servirán para planificar o toma de decisiones a diferentes problemas ambientales y territoriales.
- La cartografía sirve como apoyo para los diferentes problemas ambientales permitiendo entregar información útil.
- Con la realización de prácticas permite a cada estudiante adquirir y aplicar conocimientos sobre temas más puntuales y basados en lo que ocurre a nuestro alrededor, adquiriendo la capacidad de trabajar en equipo y toma de decisiones.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Andreu, J., Betran, J., Delgado, II., Espada, J.L., Gil, M., Gutierrez, M., Iguacel, F., Isla, R., Muñoz, F., Orús, F., Perez, M., Quílez, D., Sin, E., Yagüe, M.R. (2006): *Fertilización nitrogenada Guía de actualización*. Gobierno de Aragón-FEOGA. Zaragoza (España). 33 pp.
- Aragüés, R y Tanji, K. (2003): *Irrigation Return flow, quality and*. Encyclopedia of Water Science. pp. 502-506.
- Barros, R., Isidoro, D. y Aragüés, R. (2011): *Long-term water balances in La Violada Irrigation District (Spain): I. Sequential assessment of main inputs, outputs and water balance closing errors*, Agricultural Water Management 102: pp. 35-45.
- Barros, R., Isidoro, D. y Aragüés, R. (2012): *Irrigation management, nitrogen fertilization and nitrogen losses in the return flows of La Violada irrigation district (Spain)*, submitted to Agriculture, Ecosystems & Environment 155: pp. 161-171.
- Castro, M. (2012): *Calidad del agua de riego*. Disponible en: <http://www.slideshare.net/mauriciocastrocosio/calidad-del-agua-para-riego-11821593>
- CHE. Confederación Hidrográfica del Ebro. (2011): *Evaluación del impacto medioambiental de las actividades agrarias en cinco sistemas de riego de la cuenca del Ebro*, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica de Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) del año 2010, 251 pp.
- EcuaRed. (2012): *Riego y drenaje*. Disponible en: http://www.ecured.cu/index.php/riego_y_drenaje
- FAO (1985): *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1. FAO, Rome.
- FAO. (1996): *Control of water pollution from agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 55. FAO, Rome. 101 pp.
- FAO, (2006): *World reference base for soil resources 2006 A framework for international classification, correlation and communication*. World soils resources reports 103, FAO, Rome. 128 pp.
- FAO. (2006): *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, FAO Riego y Drenaje 56. Roma. 298 pp.
- Gobierno de Aragón. (2009): *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. 259 pp.
- Iguacel, F. (2006): *Estiércoles y fertilización nitrogenada*. En: Orús, F. (coordinador): *Fertilización nitrogenada. Guía de actualización*. Dirección General de Desarrollo Rural, Centro de Transferencia Agroalimentaria (Gobierno de Aragón). Informaciones Técnicas, número extraordinario, pp. 53-62.

- Isidoro, D. y Dechmi F. (2011): *Balance de sales a largo plazo en el regadío de Flumen (Monegros I, Huesca)*, XXIX Congreso Nacional de Riegos; Córdoba, 7-9 de junio de 2011.
- ITGE. Instituto Tecnológico Geominero de España. (1998): *Mapa geológico de España escala 1:50000, Lanaja*, Memoria. pp. 65.
- Jiménez-Aguirre, MT., Isidoro, D. (2012): *Efectos de la modernización de la comunidad de regantes de Almudévar (Huesca) sobre el cultivo del maíz*. Tierras de Castilla y León, nº 193, p. 102-109.
- Ministerio de la Presidencia. (2003): Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Miliniarium. (2004): *Contaminación por fertilizantes*. Disponible en: <http://www.miliniarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/Manuales/Contaminacionfertilizantes.asp>
- Scofield. C. (1940): *Salt balance in irrigated areas*. Washington D.C., Vol. 61, pp. 17-38.
- SMART. (2012): *El fósforo en el suelo y agua*. Disponible en: <http://www.smart-fertilizer.com/articulos/fosforo>
- Stambouli. T. (2008): Desarrollo de un índice agroambiental de riego de contaminación del agua por el fósforo en una zona de regadío del sistema del alto Aragón. Tesis Master, Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ), Zaragoza (España), 132 pp.
- Thayalakumaran, T., Bethune, M., McMahon, T. (2007): *Achieving a salt balance-Should it be a management objective?*, Agricultural Water Management 92: pp.1-12.
- Torres, M. (1983): *Balance hidrosalino del un polígono de riego en los Llanos de La Violada (Huesca)*. Tesis de Master del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (CIHEAM-IAMZ), Zaragoza, 273 p.

8. FUENTES

- Gobierno de Aragón. (2012): *SITAR Sistema de información Territorial de Aragón, Mapa de Aragón. Suelos*. Disponible en: <http://sitar.aragon.es/descargas-aragon.htm>
- Gobierno de Aragón. (2012): *RED SIAR Oficina del regante*. Disponible en: <http://oficinaregante.aragon.es>
- Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC), facilitada por el Centro de información territorial de Aragón del Departamento de Política Territorial e Interior